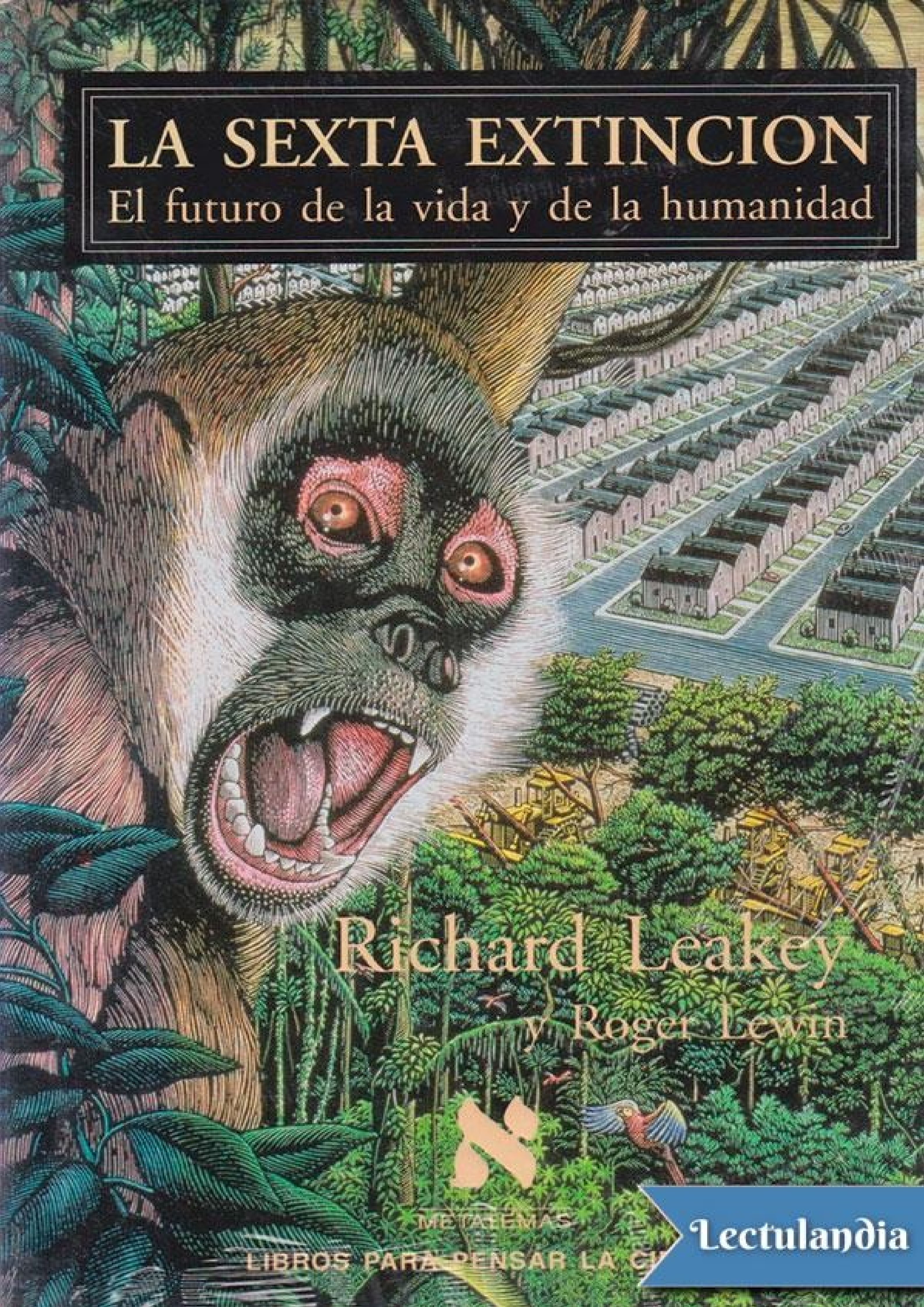

LA SEXTA EXTINCION
El futuro de la vida y de la humanidad
Richard Leakey
y Roger Lewin
METATEMAS
Lectulandia

A lo largo de la historia de la vida en la Tierra, han tenido lugar cinco grandes extinciones, la más reciente hace 65 millones e años, cuando los dinosaurios perecieron en un brevísimo lapso de tiempo. En todas ellas desapareció al menos el 65 por ciento de las especies aún vivientes. La causa de esas extinciones es aún materia de controversia: ¿repentinos cambios climáticos, asteroides, dificultades de evolución? Sin embargo, las consecuencias y las características de estas catástrofes parecen seguir todas una misma pauta.

Aportando pruebas científicas irrefutables, Richard Leakey y Roger Lewin demuestran que la sexta extinción ha empezado ya: el hombre barre la faz de la Tierra a trescientas especies vivas al año. Una amenaza para el planeta y para la especie «Homo sapiens»… Si no tomamos conciencia de las devastadoras consecuencias de nuestra conducta rapaz y aniquiladora, la especie humana podría caer (tras el mastodonte, el alca gigante o la paloma miradora) en el olvido de la extinción. Leakey y Lewin vuelven su mirada, no sin preocupación, hacia el futuro de la vida, un futuro no tan lejano y que presagia un final.

Richard Leakey & Roger Lewin

La sexta extinción

El futuro de la vida y de la humanidad

Metatemas 050

ePub r1.0
Banshee 19.01.14

Título original: *The Sixth Extinction. Patterns of Life and the Future of Humankind*
Richard Leakey & Roger Lewin, 1995
Traducción: Antonio Prometeo Moya Valle

Editor digital: Banshee
ePub base r1.0

A nuestra especie
y a nuestro futuro colectivo

Agradecimientos

Los dos autores de este libro hemos contraído una deuda de gratitud con muchas personas que han enriquecido nuestra vida profesional con un amplio abanico de experiencias. Estas personas, demasiado numerosas para citarlas a todas, saben quiénes son.

Leakey en particular, sin embargo, querría dar las gracias al personal del Kenya Wildlife Service por haber apoyado sus esfuerzos y sus ideas mientras fue su director. También le gustaría rendir tributo a su mujer, Meave, que le ayudó a andar otra vez después de haber perdido las piernas en un accidente aéreo. En realidad le debe la vida.

A Lewis le gustaría expresar su agradecimiento a algunos de los muchos científicos que le estimularon e inspiraron en su búsqueda de las pautas vitales y su significado, al mismo tiempo que admite que una lista así es necesariamente incompleta. Se refiere, entre otros, a Stephen Jay Gould, David Jablonski, Thomas Lovejoy, Robert May, Stuart Pimm, David Raup y Edward O Wilson.

1
Perspectiva personal

Fui el más sorprendido cuando una tarde de abril de 1989 irrumpió un colega en mi despacho del museo de Nairobi y exclamó emocionado: «¡Enhorabuena!». «¿Por qué?», le pregunté con desconcierto. Mi compañero me contó que acababa de oír por la radio que me habían nombrado director del Departamento de Planificación y Conservación de la Fauna. El nombramiento venía del mismo presidente, Daniel Arap Moi, y se anunció por la radio. «Pues es la primera noticia que tengo», dije. Me fui del museo sin terminar el trabajo del día, y volví a casa. A la mañana siguiente hablé por teléfono con el presidente y me sugirió que nos viéramos para hablar sobre lo que podía hacer yo para impulsar una transformación en la gestión de la fauna de nuestro país, sin olvidar la adopción de medidas para impedir que los elefantes acabaran extinguiéndose por culpa de los cazadores furtivos.

Así comenzó uno de los periodos más estimulantes de mi vida. Tuve que dejar el cargo de director de los Museos Nacionales de Kenia, que había ocupado durante dos décadas, y arrinconar mi profundo amor por la paleoantropología, la búsqueda de los orígenes humanos, que había practicado durante todo ese tiempo en los sedimentos, ricos en fósiles, del norte de Kenia, en las orillas oriental y occidental del lago Turkana. También volví a mis raíces.

Cuando era pequeño, el olor del aire apacible, la contemplación de lugares naturales y criaturas salvajes y los rumores de animales nocturnos que no veía plantaron muy hondo en mí las semillas del amor por África, el amor por la naturaleza. Entonces me interesaban más los seres vivos que los huesos antiguos que, ante mi desconcierto y frecuente irritación, tanto fascinaban a mis padres, Louis y Mary. Sus descubrimientos, que hicieron de África Oriental una región única para el estudio de restos de nuestros primeros antepasados, son leyenda en los anales de la investigación de los orígenes humanos. No obstante, además de estar obsesionado por el pasado, mi padre fue un naturalista ferviente y escribió varios libros sobre los animales de la zona. También fundó la East África Wildlife Society en 1958, que todavía desempeña un papel importante en la investigación y la conservación ecológicas del país. Mi padre nos contaba multitud de anécdotas a mí y a mis hermanos, Jonathan y Philip, cuando éramos pequeños y recorríamos la sabana africana en la garganta de Olduvai; él esperaba encontrar rastros de nuevos yacimientos de fósiles y nosotros la ocasión de entrever cómo mataba un león o acechaba un leopardo. A menudo se nos recompensaba con la contemplación de paisajes de fábula. Además nos tenía en vilo con sus anécdotas durante la noche, en el campamento, mientras los sonidos de la naturaleza rasgaban el silencio del aire. Yo

también me volví un naturalista entusiasta y al principio me sentí particularmente fascinado por los escarabajos y las mariposas. Con el tiempo admiré la cualidad asombrosa de los animales superiores y medité sobre la diversidad de la vida y la estrecha interacción de sus múltiples componentes. En 1969 fundé los Clubes de la Fauna (Wildlife Clubs) de Kenia, cuya misión es enseñar a los niños lo que es la vida de su país.

Amo Kenia, la tierra donde nací. Es un país de contrastes físicos inimaginables, desde los hábitats costeros tórridos y húmedos al nivel del mar hasta los nevados picos del monte Kenia (el más alto del continente africano después del Kilimanjaro); desde los áridos desiertos hasta las húmedas laderas de las montañas. La diversidad de la vida que bulle en estos hábitats refleja la diversidad física de la tierra y se encuentra entre las más ricas del mundo. De pequeño no conocía la expresión «equilibrio natural», pero resume de un modo simplista mi forma de sintonizar con la selva.

Satisfacía mi deseo de estar en lugares naturales siempre que podía, y todavía lo hago, porque la naturaleza producía en mí una impresión de limpieza y revitalización de lo que, a falta de un término mejor, llamo alma. Aunque la naturaleza en estado puro tiene también sus peligros, como es lógico. Tanto mis hermanos como yo sufrimos muchos brotes de malaria y ocasionales episodios de bilarziosis, una infección parasitaria que contraíamos por bañarnos en aguas con caracoles portadores de *Schistosoma mansoni*. También había que contar con las picaduras de las serpientes, que por lo general eran más dramáticas por su aspecto que por el peligro que representaban, aunque no siempre era así Y en una humillante ocasión tuve que encerrarme en una jaula que yo mismo había preparado para cazar un leopardo que se empeñó en prestarme más atención de la que se me antojó saludable. A pesar de la vergüenza que pasé, estimé más prudente ser mi propia presa durante un rato que víctima del felino para siempre.

En mi adolescencia fantaseaba con ser algún día funcionario de protección de la caza, pero tenía que contentarme con capturar animales para los cineastas Armond y Michaela Denis, que vivían cerca de nuestra casa, en las afueras de Nairobi. Las películas de los Denis fueron la primera introducción al África salvaje para muchos televidentes británicos. A menudo preparaban primeros planos sirviéndose de los animales que yo había cazado para ellos. En aquella época era una técnica legítima, dadas las dificultades existente para acercarse a los animales peligrosos en plena selva. Capturando animales aprendí mucho sobre su comportamiento.

Además me pagaban por los animales que conseguía, de modo que mi educación como naturalista se combinaba con el engrosamiento de lo que para mis trece años era una sustanciosa cuenta corriente. Me gustaron los primeros pasos independientes que pude permitirme.

La naturaleza y el comercio volvieron a confabularse para mi educación, esta vez en virtud de la seria sequía que padecimos en 1960 y 1961. Murieron docenas de miles de animales y las llanuras quedaron alfombradas de cadáveres, demasiados para que los carroñeros los eliminaran. Muchos permanecieron intactos, sin la menor huella de picos o colmillos. Había llegado ya a la conclusión de que quería independizarme económicamente de mis padres (tenía a la sazón diecisiete años) y vi una oportunidad en la munificencia de la naturaleza salvaje. Con el dinero que me prestaron compré un Land-Rover y partí en busca de animales muertos, de todos los tamaños. Los despojaba de los tejidos blandos hirviéndolos en un viejo bidón de gasolina, limpiaba y desarticulaba los esqueletos y los enviaba a museos y universidades a cambio de una remuneración satisfactoria. En el proceso aprendí mucho de anatomía comparada, ya que tenía que etiquetar y numerar todos los huesos para que pudieran recomponer el esqueleto en el punto de destino. No se me ocurre ningún medio más efectivo para aprender anatomía. Los paleoantropólogos tienen a menudo que identificar animales a partir de simples fragmentos de huesos fosilizados. Así pues, aunque entonces no lo sabía, mi breve y temprana dedicación al comercio de huesos me proporcionó una base sólida en que apoyar mi posterior y duradera vocación de paleoantropólogo.

Pero antes de dedicarme en serio a la investigación de los orígenes humanos organicé mi propia compañía de safaris, que me proporcionó la excepcional oportunidad de ir a lugares salvajes y lejanos y cobrar por ello. Me emocionaba iniciar a los turistas europeos y americanos en la gran diversidad de la vida de mi propio país, que abarca desde los detalles más sutiles de una orquídea hasta las grandes migraciones de ñúes del Serengeti (en Tanzania) al Masai Mara (en Kenia). Estaba en mi elemento y era muy feliz. Pero también me sentía inquieto; sabía que quería hacer algo más, pero no sabía qué. Al final, a pesar de las ruidosas promesas de que jamás seguiría las huellas profesionales de mis padres (mejor dicho, de que jamás caería bajo su influencia), me hice paleoantropólogo y realicé mi primera expedición importante a la orilla oriental del lago Turkana en 1968. Nunca he lamentado aquella decisión, porque tuve la suerte de trabajar con algunos científicos extraordinarios y de descubrir valiosas reliquias de nuestra historia evolutiva. Muchas personas sienten un deseo profundo y casi primordial de comprender nuestros orígenes como especie, y la búsqueda de estas reliquias en sedimentos antiguos nos pone en contacto directo con nuestra historia. Los que trabajamos en este campo somos realmente unos privilegiados.

Durante dos décadas, mientras ejercía el cargo de director de los Museos Nacionales de Kenia (una serie de diez museos repartidos por todo el país), todo el tiempo libre de que disponía lo pasaba en el campo, buscando y extrayendo fósiles. Las orillas oriental y occidental del lago Turkana resultaron yacimientos

fabulosamente ricos de fósiles humanos tempranos que nos han permitido contemplar nuestra evolución desde hace unos cuatro millones de años hasta una época relativamente reciente. La crónica de nuestra evolución está hoy mucho más completa que hace veinte años y me enorgullezco de haber hecho una pequeña contribución a esta ampliación de nuestros conocimientos con hallazgos espectaculares a ambos lados del lago. Cuando paseamos por sedimentos antiguos, buscando y encontrando fósiles, hacemos algo más que recoger huesos de otros milenios, sea cual sea su importancia. También hacemos algo más que reconstruir la historia evolutiva de una especie concreta, el *Homo sapiens*; en realidad miramos por una ventana paleontológica que da a mundos pretéritos, presenciamos su destino en el tiempo.

Si tuviera que resumir el panorama que se vislumbra en una palabra, ésta sería «cambio». El fluir dinámico de la vida está en constante cambio. Unas veces viene dado por una variación en el clima: el terreno que antaño fue árido se vuelve, por ejemplo, húmedo y produce a su vez una variación en el elenco de personajes aptos para vivir en él. Otras se origina en una exasperación de la turbulencia evolutiva, criaturas que antaño existieron desaparecen y otras nuevas ocupan su lugar. Los brotes de extinción y especiación son una fuerza periódica en el flujo cambiante de la vida, ya que genera sin cesar pautas de variación. La vida, vista a través de una ventana paleontológica, es como una imagen de caleidoscopio, para la que el cambio no sólo es natural sino inevitable. La muerte se ve como parte de la vida; la extinción, como parte del flujo de la vida.

Cuando accedí, por orden del presidente Moi, a dirigir el Departamento de Conservación de la Fauna, tuve que enfrentarme a cuestiones prácticas muy inmediatas, entre las que destacaba, como ya dije, el apremiante asunto de poner fin al lucrativo negocio de la caza ilegal de elefantes. Destacaba asimismo el problema de conciliar las necesidades encontradas de una población humana en crecimiento, que exige cada vez más tierra, y la protección de la fauna, cuyo hábitat natural se violaba. Pero también supe comprender la esencia de la diversidad de la vida, y el lugar que en ella ocupa el *Homo sapiens*, viéndola desde la perspectiva del cambio constante que es parte inevitable de la historia del planeta. No digo que esta perspectiva sirva de mucho para saber qué hacer, por ejemplo, con los daños que sufren las cosechas cuando algunos elefantes extraviados invaden las comunidades agrícolas. Pero es útil para formarse una idea general de cómo reaccionar, por ejemplo, ante la interacción entre las poblaciones de elefantes y los hábitats que a veces parecen destruir con su presencia. He llegado a la convicción de que, a menudo, es mejor dejar que la naturaleza siga su curso, de que lo que vemos en tales situaciones es el proceso de cambio que forma parte de la naturaleza, y de que es inútil, incluso perjudicial, querer impedirlo. Volveré sobre este tema más adelante, en

otra parte de este libro. Lo más importante de todo, sin embargo, es que la perspectiva de cambio en toda la historia de la vida nos proporciona un medio de juzgar nuestros derechos y obligaciones como especie, y los derechos de otras especies con que compartimos el planeta.

Cuando me puse a pensar en la clase de libro que quería escribir, me di cuenta de que mi experiencia como paleontólogo y conservacionista permitía un enfoque único de nuestra delicada coyuntura actual. Éste no es el primer libro que sostiene que el *Homo sapiens*, especie que ha llegado a ser dominante, podría estar a punto de causar una catástrofe biológica de proporciones descomunales, mediante la erosión de la diversidad de la vida a una velocidad alarmante. (Por ejemplo, la tala de bosques tropicales y la invasión de la selva por culpa del desarrollo económico podría ocasionar dentro de poco la extinción de unas cien mil especies por año.) Pero es el primero que se fija en el fenómeno desde la perspectiva del *Homo sapiens* en tanto que simple especie en un flujo vital que tiene una larga historia y un largo futuro. Para conocernos a nosotros mismos como especie y comprender nuestro lugar en el universo de los seres, tenemos que distanciarnos de nuestra propia experiencia, tanto en el espacio como en el tiempo. No es fácil, pero es esencial si de veras queremos ver una realidad más amplia. Es una perspectiva que debería hacernos humildes, habida cuenta, en particular, del enorme empeño que ponemos en alterar el planeta en profundidad.

De los varios temas que recorren el presente libro, la idea de cambio es, entre ellos, capital. Por ella nos damos cuenta de que los humanos no somos sino un breve momento en un flujo vital continuo, no su punto final. Pero del cambio hay que aprender algo más que el lugar de los humanos en el mundo. Lo más importante es que en las pautas del cambio encontramos la esencia del flujo vital; las pautas son las señales de superficie de los procesos básicos que nutren el flujo. ¿A qué me refiero con pautas? Me refiero a las imágenes que surgen cuando analizamos el registro fósil completo, a las imágenes que se desprenden del estudio de las comunidades ecológicas como un todo. Cada imagen está compuesta, evidentemente, por entidades particulares: los restos fosilizados de especies particulares en el registro geológico, por ejemplo, y las especies vivas particulares que componen los ecosistemas. Pero donde encontramos la verdadera esencia del mundo en que vivimos es en la relación entre las especies de las comunidades actuales y pasadas.

Esforzarnos por ver estas imágenes es como ver las formas tridimensionales que surgen de la distribución de puntos, aparentemente caótica, que hay en esos estereogramas llamados «ojo mágico». Podemos mirar las láminas durante mucho tiempo y no ver más que puntos. Pero, de repente, cuando la percepción se ajusta y dejamos de enfocar las pautas de superficie, vemos más allá e identificamos una

realidad visual más profunda. La biología y la ecología evolucionistas están muy cerca de identificar esa realidad profunda en el flujo de la vida. Las imágenes todavía son incompletas, pero tienen nitidez suficiente para que por vez primera seamos capaces de ver otra realidad en el mundo, un hecho que representa poco menos que una revolución intelectual. Nuestro mundo es muy distinto de lo que creíamos hace sólo unos años.

Hoy podemos ver la pauta de las extinciones en masa en el registro fósil y contemplar estos acontecimientos, no sólo como interrupciones ocasionales, sino como una fuerza creativa capital en la formación del flujo de la vida. Ésa es la novedad. Podemos mirar los procesos profundos de la evolución y ver que toda la vida, incluido el *Homo sapiens*, se parece bastante a una gigantesca lotería. Esto es algo nuevo. Y podemos mirar actualmente las pautas de las comunidades ecológicas y ver cómo se articulan, y cómo surge de ellas una dinámica imprevista. Esto también es nuevo. Tales atisbos novedosos de la biología y la ecología evolucionistas se están combinando para disecar los fenómenos engañosamente sencillos e increíblemente complejos que constituyen el mundo vivo que nos rodea.

Hay un error muy extendido, y es creer que los planteamientos intelectuales de más relevancia pertenecen a las ciencias físicas. La física es ciencia «dura», y la biología es «blanda»; eso es al menos lo que se oye. La verdad es que el mundo vivo y la historia encerrada en el registro fósil son increíblemente complejos y todavía no tenemos una comprensión total en este sentido. Antes he empleado la expresión «equilibrio de la naturaleza», un lugar común que parece reflejar la sencillez y armonía de la vida. Como veremos más adelante, no es verdad. La naturaleza no es sencilla, y la presunta armonía es muy engañosa.

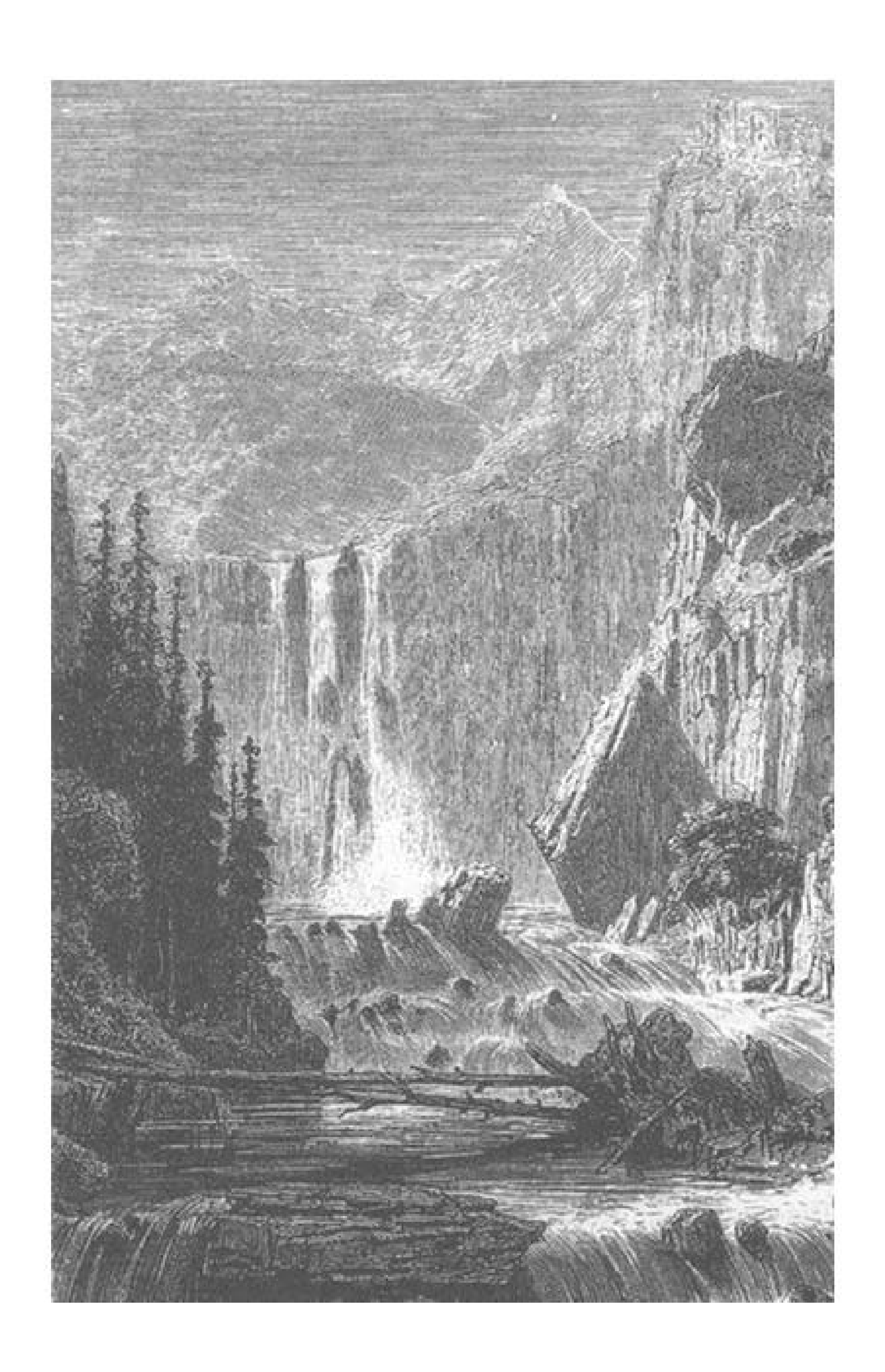
El *Homo sapiens* comparte este mundo con millones de criaturas, y juntos constituyen una asombrosa diversidad de vida compleja. Mi objetivo, en las páginas que siguen, es aprovechar las últimas investigaciones de la biología y la ecología evolucionistas para plantear una valoración más amplia de la diversidad y su alcance. ¿Por qué, por ejemplo, tiene que haber, digamos, cincuenta millones de especies vivas en el mundo actual y no un millón o quinientos millones? Es necesario comprender el lugar de la humanidad en esa diversidad. ¿Somos fruto inevitable del flujo de la vida y su culminación? Es necesario comprender el impacto humano en la diversidad. ¿Es capaz nuestra especie de destruir millones de formas de vida? De ser así, ¿qué ocurrirá? Necesitamos, pues, comprender el futuro de la diversidad. ¿Podemos predecir por las pautas del pasado lo que sucederá en el futuro?

Cuando doy conferencias sobre la investigación de los orígenes humanos la pregunta que me hacen con más frecuencia es qué ocurrirá a continuación. Comprendo la preocupación que causa esta pregunta. Se trata de la omnipresente incertidumbre acerca del futuro de la humanidad, y quienes preguntan desean a

menudo que de algún modo se les tranquilice. La respuesta, que expondré en las páginas que siguen, no suele recibirse con satisfacción, ya que no tranquiliza en absoluto.

En este libro, como en otros anteriores, he colaborado con Roger Lewin. Hemos combinado nuestros puntos de vista para emprender este viaje por la historia de la vida en busca de las pautas que pongan de manifiesto su naturaleza y su futuro; yo parto de mi experiencia como paleoantropólogo y conservacionista, y Roger de sus conocimientos en biología y ecología evolutivas. Ha sido un viaje de dos personas, pero, tal como hemos hecho en anteriores colaboraciones, soy yo quien habla en el texto. Esta decisión es por un lado un reflejo de mi papel en las campañas para que los problemas de la conservación se planteen en un foro internacional y por otro un recurso literario eficaz. Además, que hablemos con una sola voz viene a simbolizar nuestra común concepción del mundo de la naturaleza y nuestra común preocupación por las especies con que la compartimos.

Tiempo y cambio



Encerrados como estamos en nuestro mundo del presente, valorar el flujo de los procesos evolutivos que dieron forma al planeta en que vivimos es todo un reto para nosotros.

El Homo sapiens no es sino una especie entre muchas, fruto de una intrincada e imprevisible interrelación entre los procesos creativos de la evolución y la mano de la extinción, caprichosa a veces.

En esta sección echaremos un vistazo a algunos de los rasgos básicos de esa creatividad (y sus persistentes misterios) y apreciaremos la decisiva importancia de las crisis ocasionales en la historia de la vida.

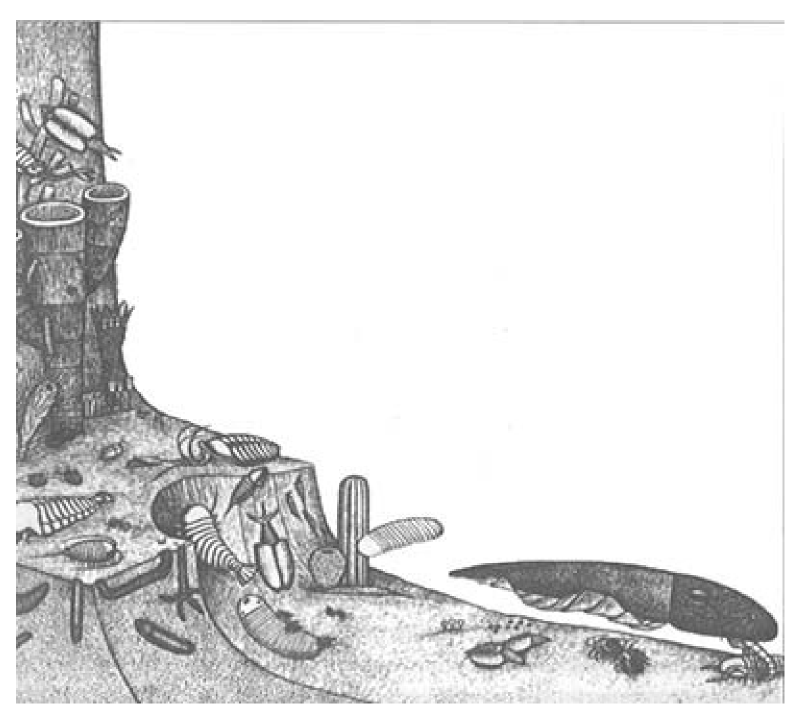
2
El principal misterio de la vida

En la orilla occidental del lago Turkana, no lejos de donde, en 1984, desenterramos el esqueleto de un joven que había muerto hacía algo más de millón y medio de años, puede contemplarse un espectáculo sobrenatural. Parecidos a hipopótamos petrificados revolcándose en un lago de sedimento seco, cientos de estromatolitos perfectamente ordenados revelan la antigua presencia de una laguna de escasa profundidad. Vi estas extrañas «criaturas» por primera vez mientras nos tomábamos un descanso durante los primeros días de la exhumación del esqueleto del que pronto llamamos «el joven de Turkana». Frank Brown, Alan Walker y yo habíamos dejado a nuestros colegas trabajando al calor del sol tropical y nos habíamos dirigido al oeste, alejándonos del lago, alrededor de kilómetro y medio. Alan, antropólogo del Johns Hopkins Hospital, ha sido mi amigo íntimo y colaborador durante años y juntos hemos desenterrado muchas antiguas reliquias humanas. Frank, geólogo de la Universidad de Utah, ha pasado una década reconstruyendo la historia geológica de la cuenca del lago y poniendo al descubierto las múltiples fuerzas que han dado forma a la región. Había descubierto los estromatolitos hacía poco y quería que los viéramos; de ahí que abandonáramos el lugar de las excavaciones para lanzarnos a aquella pequeña expedición. Al final llegamos a un cauce próximo al río Nariokotome, que queda al norte, donde estaba el esqueleto del joven. Estábamos en agosto y en esta época del año los dos ríos están completamente secos.

Nos encontrábamos ya a unos cinco kilómetros del lago y veía, Perdiéndose en la lejanía, las formas redondeadas y asombrosamente regulares de los estratos estromatolíticos. Estaban en una llanura prácticamente árida, situada al pie de una elevación del terreno salpicada e pedruscos de lava, altos y secos. Pero, como explicó Frank, hace un millón de años estaban cubiertos por aguas poco profundas y tranquilas. El lago, evidentemente, había sido mucho mayor entonces. Cuando están vivos, los estromatolitos son colonias de algas unicelulares y otros microorganismos imbricados en una compleja microecología. Las colonias están formadas por estratos delgados de microorganismos que al principio se apelotonaron, tal vez, alrededor de un grano de arena. Crecen poco a poco, conforme un leve sedimento cubre el estrato vivo exterior, obligando a los organismos que quedan enterrados a salir como sea a la superficie para volver a formar una delgada, plana y compleja comunidad microbiana. En el mundo de los estromatolitos, la vida está siempre en los límites. El resultado es una serie de estructuras con forma de esfera achatada, algunas de las cuales llegan a tener el tamaño de una mesa camilla, un metro de diámetro.

Algunos de los fósiles de estromatolitos del lago Turkana se habían dividido en dos, poniendo al descubierto, estrato tras estrato, la impronta de colonias sucesivas, vida a escala microscópica. Su presencia en aquel terreno nos daba indicios de las condiciones reinantes en la cuenca del lago hace un millón de años: podía verse que las aguas del lago cubrieron antaño una tierra que en la actualidad es un árido desierto. También nos dio una imagen mucho más profunda de la vida en el pasado, hasta donde se puede mirar y seguir viendo vida. Aunque los estromatolitos vivos son raros en el mundo actual (las salobres e inhóspitas aguas de Shark Bay, en Australia occidental, son uno de los escasos puntos donde todavía florecen), son frecuentes en el registro fósil y están entre las primeras manifestaciones de la vida en la Tierra.

Uno de los hechos más asombrosos de la historia de la Tierra es que la vida apareciese tan temprano. El planeta se condensó a partir de los escombros del incipiente sistema solar hace cuatro mil seiscientos millones de años como una hirviente acumulación de piedra líquida radiactiva, totalmente hostil a cualquier forma de vida. Lentamente se redujo el calor de aquel parto infernal y hace poco menos de cuatro mil millones de años la vida fue teóricamente posible; es decir, las frágiles moléculas orgánicas ya no se rompían en cuanto se formaban y los ambientes acuosos persistían en vez de convertirse violentamente en vapor. Las dos condiciones eran imprescindibles para la aparición de la vida. A la posibilidad teórica siguió rápidamente la realidad cuando hace unos tres mil setecientos cincuenta millones de años despuntó la vida primigenia en forma de sencillos organismos unicelulares, cuyos fantasmas se han encontrado en la roca continental más antigua que se conoce. Aprovechando la energía del sol y explotando el entorno químico, estos sencillísimos organismos, células sin núcleo (conocidas con el nombre de procariotas), proliferaron y su tipo se diversificó. Colectivamente construyeron las alfombras estratificadas de microorganismos que, con el tiempo, crearon la característica forma de los estromatolitos.



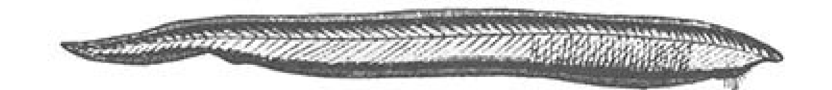
La diversidad biológica se desarrolló rápidamente durante la explosión cámbrica, hace 530 millones de años. Sobre estas líneas vemos una reconstrucción de la vida tal como se encontró en Burgess Shale (Columbia Británica). Hay algunas formas conocidas (como esponjas y braquiópodos) que han durado hasta el presente. Pero muchas (como el gigantesco *Anomalocaris*, abajo a la derecha) no dejaron descendientes y representan tipos que ya no existen. (De Stephen Jay Gould, «The evolution of life on Earth», Copyright © 1994 by *Scientific American, Inc*. Reservados todos los derechos.)

Dado un comienzo tan temprano, cabría esperar que la vida emprendiera inmediatamente una progresión gradual y uniforme hacia formas de complejidad creciente; primero acabaron por cuajar células más complejas, eucariotas, cuyo material genético está almacenado en un núcleo; aparecieron orgánulos especializados (mitocondrias y cloroplastos) que realizan funciones concretas; luego progresó hacia los organismos pluricelulares, sencillos al principio, avanzando desde los invertebrados hasta los vertebrados, desde los anfibios y reptiles hasta los mamíferos, y finalmente hasta nosotros, el *Homo sapiens*. Desde la privilegiada posición del presente vemos que esas etapas de la vida a las que acabo de aludir se produjeron efectivamente, aunque de un modo que sólo puede calificarse de irregular e imprevisible. Si algo aprendemos de la vida al analizar su historia en la Tierra es lo poco que hay en ella de gradual y uniforme. (Esto es válido para todas las escalas, desde lo global hasta lo local, como los modelos fractales.)

Tras fundar la primera y apremiante base, la forma de vida más compleja durante la friolera de dos mil millones de años fue la célula procariótica, y su organización más compleja la microecología de las colonias de estromatolitos. La vida, por lo visto, no tenía prisa por ir a ninguna parte. Cuando finalmente, hace unos mil ochocientos millones de años, aparecieron las células eucarióticas, se habría dicho que la escena estaba preparada para entrar en la etapa siguiente, la de los organismos

pluricelulares. Pues no; tuvieron que pasar otros mil millones de años, y más, para que se desarrollaran tales organismos. Incluso cuando se materializaron, permanecieron ocultos en el mejor de los casos y no se comportaron como los abanderados de la complejidad de organización e interacción que entendemos cuando hablamos de la vida pluricelular. La aparición de organismos pluricelulares complejos (y me refiero a los más bien modestos aunque singulares invertebrados marinos) tuvo que esperar hasta hace unos 530 millones de años, cuando había transcurrido ya el 85 por ciento de la historia de la Tierra hasta el presente. Pero cuando aparecieron, el fenómeno fue tan espectacular que los paleontólogos lo conocen como explosión cámbrica.

En unos cuantos millones de años, en un brote de innovación evolutiva, se inventaron los principales planes estructurales, o tipos, que representan la vida planetaria actual. Entre ellos había un organismo diminuto, parecido a una criatura marina vermiforme denominada anfioxo y que, bautizado con el nombre científico de *Pikaia*, probablemente fue el fundador del tipo o fílum de los cordados, que comprende todos los vertebrados posteriores, incluido el *Homo sapiens*. Desde la atalaya de nuestro presente, fue un comienzo extremadamente humilde.



El anfioxo, un animal marino que todavía vive, es muy parecido a *Pikaia*, por lo menos en cuanto a organización anatómica.

De «sin precedentes e insuperada» calificó James Valentine, paleontólogo de la Universidad de California-Berkeley, la explosión cámbrica. La expresión es válida, aunque se queda corta. Y, como veremos en el capítulo siguiente, en la explosión cámbrica hay algo más que su carácter explosivo.

Una vez más, se habría dicho que la llegada de la vida pluricelular compleja, aunque tardía, anunciaba una progresión regular por los mundos prehistóricos que conocemos gracias al registro fósil, hasta alcanzar de manera previsible el mundo de la naturaleza que vemos actualmente. Pero las expectativas volvieron a frustrarse. La vida, desde la explosión cámbrica, se ha caracterizado por sufrir expansiones y depresiones y, aunque las especies se han diversificado de un modo fabuloso, han resultado aniquiladas en cantidades ingentes por ocasionales extinciones en masa, cinco en total. El epigrama que describe la guerra también es válido para la vida en este planeta, si no por sus manifestaciones sí por su ritmo: largos periodos de aburrimiento interrumpidos por breves instantes de terror.

Uno de los legados de la revolución darwiniana, que hace un siglo sustituyó la explicación tradicional de la vida como designio divino por una perspectiva naturalista, impuso una concepción del mundo muy concreta en el pensamiento de

Occidente. Según esta perspectiva, las especies medran porque de alguna manera son superiores a sus competidoras; ganan en la «lucha por la existencia», por emplear la expresión de Darwin. Del mismo modo, las especies se extinguen porque sucumben en la competencia; son perdedores en la lucha por la vida. Se trata de una interpretación más bien simplista de la idea más grande de Darwin, la teoría de la evolución mediante la selección natural, pero casaba cómodamente con la moral occidental del éxito por el esfuerzo. Pueden verse estos principios, unas veces de modo latente, otras de modo manifiesto, en los manuales de biología y más aún de antropología, sobre todo si son de hace varias décadas.

La diversidad biológica de la vida actual (la cantidad de especies en su correspondiente hábitat) está cerca de alcanzar su punto más alto en la historia del planeta. Nosotros somos una especie entre incontables millones, el tapiz vivo más rico que ha albergado la Tierra hasta hoy. Desde la perspectiva del «éxito evolutivo por la superioridad» que he descrito, es comprensible que nos demos palmaditas en la espalda e incluyamos al *Homo sapiens* en el fruto colectivo del éxito gradual de especies cada vez mejor adaptadas al medio. Pero uno de los más importantes descubrimientos de la biología evolucionista en los últimos años nos advierte de que la suerte, y no la superioridad, representa un papel decisivo en la determinación de los organismos que sobreviven, sobre todo en los periodos de extinción en masa. Tenemos que admitir en consecuencia que los humanos somos una parte del batallón de los afortunados supervivientes de las convulsiones catastróficas del pasado y no las expresiones modernas de una antigua superioridad.

A los biólogos les interesan las pautas de la vida en la Tierra y lo que las promueve. En otras palabras, cómo surgen nuevas especies y en qué circunstancias desaparecen. La dinámica interactiva del origen y la extinción de las especies determina la diversidad de la vida en la Tierra en todos los puntos de su historia; la diversidad biológica dominante es el producto del pasado y prepara la escena para el futuro. En esta sección de nuestro libro, Tiempo y Cambio, analizaremos los cimientos biológicos de la rica diversidad del mundo contemporáneo, a saber, la explosión cámbrica; se describirá la prueba de la extinción en masa que pasó la vida para llegar al presente; y se estudiará el lugar del *Homo sapiens* en la rica diversidad de la vida actual.

La explosión cámbrica desconcertaba e inquietaba a Charles Darwin, ya que creía que la aparición repentina de muchos grupos de especies ponía seriamente en duda su embrionaria teoría de la evolución por selección natural. La esencia de la selección natural, tal como la concebía Darwin, era el cambio gradual, la acumulación de diminutas modificaciones en el comportamiento o la anatomía como reacción ante las circunstancias ambientales dominantes. Tras periodos de tiempo muy largos podía

producirse una variación evolutiva importante, a veces con aparición de especies nuevas, pero Darwin pensaba que era un trayecto que se recorría despacio. ¿Cómo se explicaba entonces la aparición como quien dice explosiva de la vida en el segmento más antiguo del registro?

ERAS GEOLOGICAS			
Era	*Periodo*	*Epoca*	*Millones de años atrás*
Cenozoico	*Cuaternario*	*Holoceno* *Pleistoceno*	
	Terciario	*Plioceno* *Mioceno* *Oligoceno* *Eoceno* *Paleoceno*	*65*
Mesozoico	*Cretácico* *Jurásico* *Triásico*		*225*
Paleozoico	*Pérmico* *Carbonífero* *Devónico* *Silúrico* *Ordovícico* *Cámbrico*		*570*
Precámbrico			

Escala de tiempo geológico

Darwin se consolaba pensando en la imperfección del registro fósil, tema al que dedicó un capítulo entero de *El origen de las especies*. Decía que la explosión cámbrica se nos antojaba espectacular porque aún estaban por descubrir los antepasados de aquellos organismos. En época de Darwin no se había encontrado aún ninguna prueba fósil anterior al cámbrico, hecho que le parecía «inexplicable».[1] Sugirió que quizás los organismos precámbricos no habían llegado a fosilizarse o que, por culpa de acontecimientos geológicos posteriores, los fósiles habían resultado destruidos. Incluso especuló con que los fósiles en cuestión se hubieran concentrado en continentes hoy profundamente sumergidos bajo las masas oceánicas y, por tanto, muy lejos del alcance del paleontólogo. (Aunque la moderna teoría geológica no admite que los continentes puedan aparecer y desaparecer de esta manera, hace un siglo se consideraban posibles tales procesos.)

Todos los paleontólogos saben que, tal como lamentaba Darwin, el registro fósil está con frecuencia irritantemente incompleto, y por mil razones geológicas. Qué más

quisiéramos, los que estamos interesados por la prehistoria humana, que dar con buenos yacimientos geológicos entre las bandas de los cuatro y los ocho millones de años en África oriental, porque sabemos que entonces hubo progresos importantes. Pero siguen siendo, ay, escurridizos hasta la frustración. Que Darwin recordase la imperfección del registro no fue por tanto un recurso desesperado, sino una súplica ante una desdichada realidad geológica. Algún día, dijo, se exhumarán las pruebas que describirán el largo preludio de los acontecimientos aparentemente explosivos del cámbrico. Entonces se pondría de manifiesto la existencia de una trayectoria en el cambio, gradual y progresiva, que restaría bulto a la aparición (para Darwin) inquietantemente brusca de formas complejas de vida.

Tuvo que pasar casi un siglo para que se encontraran pruebas de la existencia de vida en el precámbrico.

El geólogo australiano R. C. Sprigg hizo en 1947 un descubrimiento histórico, al encontrar unas criaturas parecidas a medusas en sedimentos antiguos de las colinas Ediacara en la cordillera Flinders, en Australia meridional. La importancia del descubrimiento radica en la edad de los depósitos, unos 670 millones de años, lo que los sitúa más de cien millones de años por delante de la explosión cámbrica. Con el tiempo, posteriores expediciones añadieron otros organismos a la lista, entre ellos criaturas que, según se dijo, se parecían a medusas actuales, gusanos segmentados, artrópodos y corales, animales con los que estamos familiarizados en el mundo actual. Algunas no se parecían a ninguna criatura viva conocida, ni estante ni extinta.

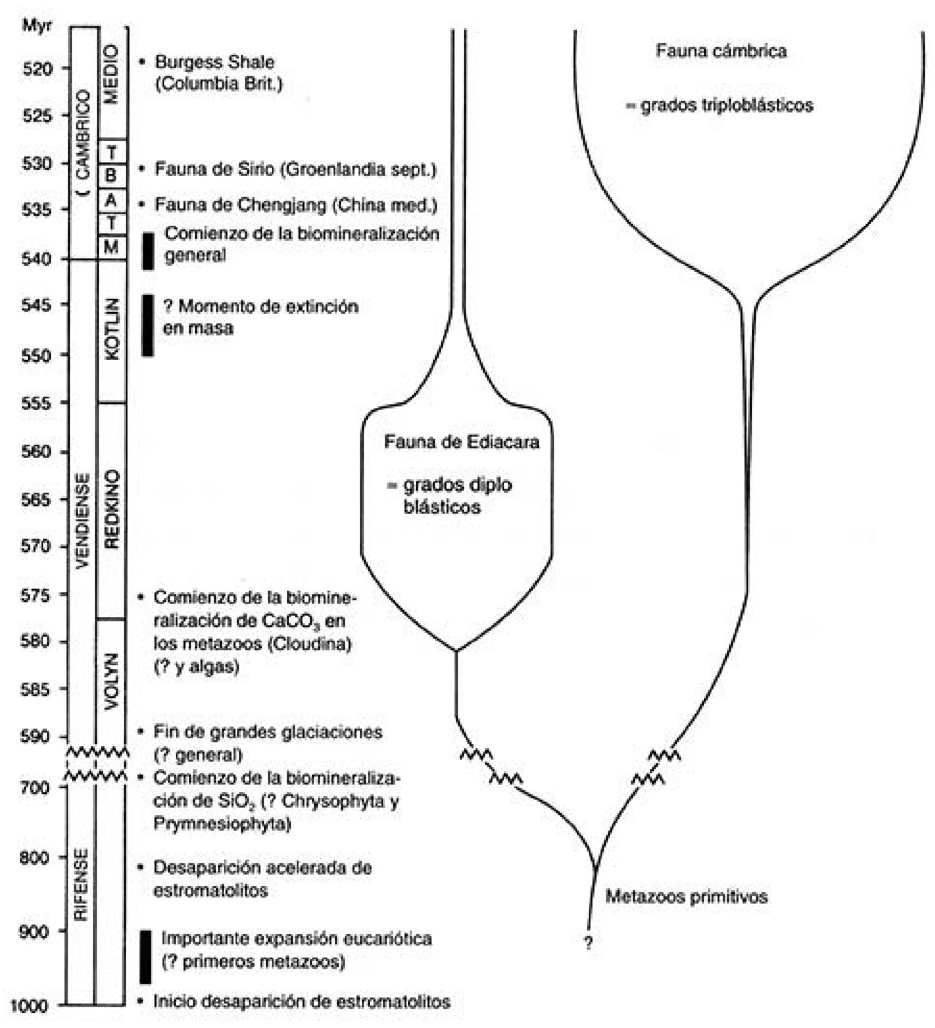
Todos estos organismos, conocidos colectivamente como fauna de Ediacara, eran de cuerpo blando, esto es, carecían de caparazón calcificado. Una de las explicaciones propuestas para explicar la aparente ausencia de precursores de los ciudadanos del mundo cámbrico sostenía que eran de cuerpo blando y en consecuencia de fosilización muy improbable. Sólo en las circunstancias geológicas más extraordinarias sería posible entrever esta frágil vida precámbrica. Los delicados sedimentos de arenisca de las colinas Ediacara reunían al parecer las condiciones idóneas y conservaron las formas de estas criaturas en vez de borrar todo rastro de su existencia.

Desde aquel primer descubrimiento, hace ya medio siglo, se han encontrado conjuntos parecidos de criaturas primitivas de cuerpo blando, de la misma época, en otros lugares del mundo, eliminando así la posibilidad de que el hallazgo de Ediacara fuese una aberración geológica. La fauna de Ediacara era variada y universal, eran elementos de una etapa al parecer importante en la progresión de los organismos unicelulares simples a los organismos unicelulares complejos, y finalmente a las formas de vida más complejas, las criaturas pluricelulares. Esta historia, la progresión de los organismos simples a los complejos, no se produjo, sin embargo, mediante un

proceso inexorable y previsible. Como ya vimos, la llegada del mundo pluricelular fue tardía en la historia de la Tierra y el probable motivo se ha identificado hace poco. «La aparición de los animales (pluricelulares) estuvo estrechamente relacionada con los cambios sin precedentes que se habían producido en el medio físico de la Tierra, entre ellos un aumento importante del oxígeno atmosférico», ha dicho Andrew Knoll, geólogo de la Universidad de Harvard.[2] Antes de que los niveles de oxígeno presentes en la atmósfera subieran de un pobre 1 por ciento a cerca del 21 por ciento actual, los organismos mayores que una célula no podían sobrevivir. La idea de que la falta de oxígeno fue un obstáculo para la aparición de formas de vida complejas tiene un largo historial, por lo menos de tres décadas, pero las pruebas geoquímicas del aumento repentino del oxígeno se encontraron hace muy poco.

Las modificaciones del medio físico pueden ser un poderoso motor del cambio evolutivo y con frecuencia ha sido el factor crítico. Es lo que pasó, según creo, con el origen de la familia humana, un acontecimiento reciente que se produjo hace unos cinco millones de años; pudo tener una función en el origen de nuestro propio género, *Homo; y* parece que fue lo que pasó con la primera manifestación de la vida pluricelular, hace unos 630 millones de años. Una explicación así volvería los ojos hacia Darwin, que siempre fue consciente de que «la lucha por la existencia» de los organismos suponía una interacción con otras formas de vida y con el medio físico.

El descubrimiento de la fauna de Ediacara permitió suspirar de alivio a la comunidad geológica, que apoyaba mayoritariamente la opinión darwiniana del desarrollo gradual durante largos periodos de tiempo. Allí estaba, por fin, la fauna antepasada de la vida del mundo cámbrico. La explosión cámbrica no fue una manifestación brusca, después de todo. Tal como había predicho Darwin, se trataba sólo de un artefacto, malignamente engañoso, de un registro fósil claramente incompleto. Los «vastos y sin embargo totalmente desconocidos periodos de tiempo» anteriores al mundo cámbrico habían estado, ciertamente, «plagados de criaturas vivas», tal como Darwin había dicho.[3] Aunque el largo preludio de vida unicelular no podía ponerse en duda, podía entenderse ya que el origen de criaturas más complejas había sido gradual, no repentino.



Las criaturas de Ediacara, que antaño se creyeron antepasadas de todas las formas complejas posteriores, seguramente fueron n experimento evolutivo aislado que dejó pocos descendientes. (Diagrama de Simon Conway Morris, *Nature*, vol. 361, p. 219. Copyright © Macmillan Magazines Limited.)

Tuvieron que transcurrir varias décadas para que fermentaran las dudas sobre la verdadera naturaleza de la fauna de Ediacara. Algunas criaturas eran desconocidas y no se podían vincular fácilmente con ninguna forma de vida posterior, pero casi todas se habían identificado como antepasadas de uno u otro tipo de animal cámbrico. Pese a todo, hacia 1985 se comenzaron a poner en duda casi todos estos vínculos, con la posible excepción de las esponjas. Adolf Seilacher, paleontólogo de la Universidad de Tubinga, fue uno de los primeros en discutir la interpretación convencional y sin duda el más influyente. Seilacher admitía la existencia de semejanzas superficiales entre algunos animales de Ediacara y especies posteriores, pero arguyó que la arquitectura básica era distinta. Los organismos modernos transportan los nutrientes y gases respiratorios por varios sistemas de tubos internos. Estos sistemas no existían en la fauna de Ediacara, que poseía «una insólita construcción neumática en edredón»,[4] según Seilacher. Como la estructura interna de los animales de Ediacara era tan radicalmente distinta de la de los organismos posteriores, Seilacher adujo que no podían ser los antepasados del bestiario cámbrico. Los fósiles de Ediacara, dijo,

«representan un experimento fallido de la evolución precámbrica y no los antepasados de los animales y plantas modernos».[5]

La opinión de Seilacher no tardó en imponerse. Por ejemplo, en octubre de 1989, Simón Conway Morris, geólogo de la Universidad de Cambridge, escribió en *Science* a propósito de «una asombrosa falta de continuidad entre la fauna de Ediacara y la subsiguiente fauna cámbrica». Aunque señaló la posible existencia de artefactos geológicos responsables de esta disparidad, llegó a la conclusión de que la discontinuidad «podría ser reflejo de importantes extinciones en los depósitos de Ediacara».[6] Cuatro años más tarde remachó en *Nature* esta misma conclusión y presentó un diagrama de la vida en los tiempos precámbrico y cámbrico, señalando el florecimiento inicial de la fauna de Ediacara y su casi total desaparición posterior, resultado de la extinción universal de multitud de criaturas que no han vuelto a verse desde entonces.

Durante cien millones de años los animales de Ediacara fueron las formas de vida más complejas que hubo en la Tierra y su aparición causó estragos entre las comunidades de microorganismos existentes. Los procariotas, a los que se sumaron después los eucariotas unicelulares, habían vivido en colonias, la forma de organización suprema de la vida, durante más de tres mil millones de años. Los índices de aparición de especies nuevas y de extinción habían oscilado de tarde en tarde, con ocasionales periodos de mucho movimiento, pero hasta entonces no había habido desapariciones en masa. Las tornas cambiaron cuando despuntó el exótico bestiario de la época de Ediacara: alrededor del 75 por ciento de las especies de organismos unicelulares que componían los estratos vivos de estromatolitos desapareció entre las fauces de los grandullones que acababan de llegar al barrio. Pero los animales de Ediacara acabaron también por desaparecer, prácticamente sin dejar rastro y sin que sepamos la causa. Hoy sabemos que casi ninguno de los animales de Ediacara fue antepasado de nadie, que no fueron sino residuos de un grandioso y fallido experimento de la evolución.

Eliminada la fauna de Ediacara como la esperada precursora del mundo cámbrico que habría conducido a la gradual progresión evolutiva predicha por Darwin, la explosión cámbrica volvió a plantearse como un enigma que pedía una explicación fuera de lo común. Con razón se ha calificado de «principal misterio de la historia de la vida».[7]

3
El motor de la evolución

La explosión cámbrica de hace quinientos millones de años fue un estallido evolutivo sin precedentes en la historia de la vida y, como veremos, no se ha repetido desde entonces. En un espacio de tiempo geológicamente breve apareció una multitud de nuevas formas de vida. A los biólogos les encantaría conocer lo que originó este impresionante misterio. Según David Jablonski y David Bottjer, paleontólogos de la Universidad de Chicago, «el motor de la macroevolución es la innovación».[8] El término macroevolución alude a las principales variaciones en la historia de la vida, por ejemplo la aparición de las plantas fanerógamas y la aparición de la nutrición placentaria de los embriones, un componente de la evolución de los mamíferos verdaderos. La macroevolución describe las pautas mayores de la historia de la vida y no hay pauta mayor ni más espectacular que la explosión cámbrica, momento en que el escenario de la evolución quedó básicamente preparado para que se representara el resto de la historia de la Tierra. Todas las arquitecturas básicas con que se han modelado los organismos pluricelulares modernos aparecieron en aquel breve estallido de innovación evolutiva.

Hasta hace poco se creía que este periodo había durado entre veinte y treinta millones de años, duración que, medida por la escala del tiempo geológico, habitualmente generosa, era ciertamente breve, sobre todo si tenemos en cuenta la magnitud del cambio operado. A fines de 1993, sin embargo, un equipo de geólogos y paleontólogos de la Universidad de Harvard redujo a menos de la mitad la duración que se había estimado para la explosión cámbrica, aduciendo que a lo sumo había durado diez millones de años y tal vez sólo cinco. Mi amigo Stephen Jay Gould, también de la Universidad de Harvard, comentó cuando se produjo el descubrimiento: «El mayor estallido evolutivo resulta ahora que es más estallido evolutivo de lo que pensábamos».[9] Como es lógico, el ritmo gradual de la evolución darwiniana canónica es insuficiente para explicar un acontecimiento de esta magnitud y rapidez, y hay que buscar otros mecanismos. Jablonski y Bottjer advierten que a los biólogos les aguarda una misión difícil si quieren explicar cómo funcionó el motor de este acontecimiento extraordinario. Y han dicho: «Las clases de novedad evolutiva más espectaculares, las innovaciones principales, están entre los componentes menos comprendidos del proceso evolutivo».[10]

El presente capítulo tiene dos objetivos. Primero pretende analizar la naturaleza de la explosión cámbrica y describir algunas de las hipótesis que se han propuesto para explicarla. Luego nos centraremos en el insólito carácter del acontecimiento, un

carácter identificado recientemente que cuestiona las descripciones tradicionales de la historia de la Tierra.

Cuando los turistas vienen a Kenia a contemplar la fauna, en cabeza de su lista de deseos figuran elefantes, leones, rinocerontes, leopardos y búfalos, algunos de los más conocidos y románticos animales africanos. Se sienten estafados si vuelven a su casa sin anécdotas que describan que han estado cerca de la naturaleza y visto a estos animales en la jungla. Lo entiendo, ya que estas majestuosas criaturas inspiran al observador un formidable respeto. Son agentes grandiosos e insustituibles del rico ecosistema de mi país, de mi continente. A los humanos, por lo visto, nos atrae lo espectacular, y es indudable que un grupo matriarcal de elefantes, una cacería de leones y una amenazadora manada de búfalos son espectaculares. Pero estos animales son sólo una parte del ecosistema africano y de todos los del mundo, y una parte más bien pequeña por añadidura. Las especies mamíferas, en su gran mayoría de un tamaño mucho menor que las referidas, son unas cuatro mil, una pequeñísima fracción de los muchos millones de especies que constituyen la actual biota de la Tierra. Nos sentimos fascinados por unas cuantas rarezas que viven entre, y dependen de, un vasto caleidoscopio de actores «secundarios» en el juego de la vida.

Los vertebrados son cordados, uno de los treinta tipos morfológicos de animales que hay aproximadamente en la actualidad. La mayor parte de los otros veintinueve son lo que probablemente consideraríamos formas humildes de vida: artrópodos (que comprenden los arácnidos, los insectos y los crustáceos), anélidos (lombrices y afines), corales, esponjas, moluscos (entre ellos las almejas, los caracoles y los calamares) y equinodermos (erizos de mar, estrellas y lirios de mar). La actual era geológica, el Cenozoico, se denomina a menudo «edad de los mamíferos», lo que refleja una perspectiva de la vida muy parcial. Un criterio más firme, basado en el éxito en el juego de la vida (al menos por lo que afecta a cantidades), diría que es la edad de los artrópodos. Los artrópodos predominan en la actualidad como en buena parte de la historia del planeta; representan el 40 por ciento de las especies vivas.

Como ya he señalado, actualmente hay más especies animales que en ningún otro momento de la historia de la Tierra, cada cual una variante única de uno de los treinta planes estructurales mencionados. Este auge de la biodiversidad en el tiempo evolutivo es uno de los misterios de la vida en la Tierra y parte del empuje inexorable del motor de la evolución, que genera miríadas de variaciones alrededor de unos cuantos temas básicos. Todos estos treinta y tantos mapas estructurales modernos se remontan al Cámbrico, a aquel festival de innovaciones que tuvo lugar en el intervalo entre los 530 y los 525 millones de años anteriores a nuestra época. Si un fílum en potencia estuvo ausente en el Cámbrico, se condenó a estar ausente para toda la eternidad. Fue como si la fábrica de saltos evolutivos que produjo las principales

novedades funcionales (las bases de los nuevos tipos) hubiera desaparecido al terminar el periodo cámbrico. Como si el motor de la evolución hubiera perdido parte de su potencia.

La explosión cámbrica, pues, debería considerarse especial no sólo por su innovación intensiva en un lapso de tiempo tan corto, sino también por su fecundidad inigualada y, más aún, sin parangón conocido. Al parecer hubo algo muy especial, tal vez único, en los mecanismos macroevolutivos que operaron hace poco más de quinientos millones de años. Jeffrey Levinton, biólogo de la Universidad Estatal de Nueva York (Stony Brook), ha expresado gráficamente el enigma que los biólogos afrontan con este hecho: ¿por qué no salieron más planes estructurales del caldero evolutivo durante los últimos centenares de millones de años?[11] Con el tiempo se han formulado dos respuestas fundamentales. La primera apela a principios ecológicos, la segunda a la genética, y las dos son muy teóricas. Hay otras, además, que son incluso más especulativas.

Ecológicamente hablando, la Tierra, a comienzos del Cámbrico, era un lugar sencillo. Había cientos de miles de especies de organismos unicelulares y las poblaciones supervivientes de la fauna de Ediacara; pero los nichos ocupados por los organismos pluricelulares del mundo actual no se habían llenado aún. El mundo del Cámbrico temprano ofrecía por tanto oportunidades ecológicas ilimitadas. «Los ecosistemas», ha observado Gould, «tenían espacio para todos, reptadores, marchadores, excavadores, sorbedores, predadores, lo que se quiera, y la vida respondía con un abanico de oportunidades sin igual. Una vez que explotó la explosión cámbrica, ya no volvieron a darse las mismas oportunidades porque el espacio ecológico disponible no ha vuelto a estar tan vacío.»[12] La idea del nicho ecológico vacío, que James Valentine, de Berkeley, anunció hace dos décadas, entra en el marco darwiniano estándar en la medida en que busca influencias externas para explicar la forma del mundo.

Según esta idea, la innovación evolutiva ha sido constante durante los últimos quinientos millones de años, pero la probabilidad de supervivencia de sus frutos ha cambiado. En el Cámbrico temprano sobrevivieron las innovaciones al nivel del fílum porque había poca competencia. Luego, cuando se ocuparon todos los nichos disponibles, las siguientes innovaciones de importancia acabaron frustrándose por la sencilla razón de que ya no quedaba espacio ecológico por explotar. La hipótesis es atractiva, aunque sólo sea porque cuadra con los principios biológicos convencionales, lo que siempre es una buena proposición. Posee una grata sencillez y familiaridad.

En 1987 Valentine puso a prueba la hipótesis, al menos en el campo teórico. Para ello juntó sus fuerzas con las de Douglas Erwin, hoy en el Instituto Smithsoniano de Washington, y las de Jack Sepkoski, de la Universidad de Chicago, y entre todos

analizaron el registro fósil. Observaron que otro acontecimiento notable de la historia de la Tierra, la mayor de todas las extinciones en masa, que ocurrió a finales del periodo Pérmico, hace 225 millones de años, eliminó nada menos que el 96 por ciento de las especies marinas. Esta gigantesca catástrofe global, conocida como extinción pérmica, venía a ser un experimento natural con que cotejar lo ocurrido en dos periodos diferentes de la historia de la Tierra en que el planeta estaba ecológicamente empobrecido. Si el espacio ecológico estaba igual de vacío en estos dos periodos, según la hipótesis había que esperar una reacción parecida, un brote de innovación evolutiva.

«Es improbable que en aquellos tiempos coexistieran en la biosfera marina más de un millar de especies pluricelulares», observaron Valentine y sus colegas. «En ambos casos se produjo a continuación una diversificación espectacular.»[13] Las reliquias del registro fósil ponen de manifiesto que los brotes de innovación evolutiva que siguieron a la extinción pérmica se parecían mucho a la innovación de la explosión cámbrica, aunque el parecido fue cuantitativo, no cualitativo.

Los biólogos clasifican los organismos vivos en jerarquías, con la especie en el nivel más bajo y el fílum o tipo prácticamente en el más alto (el que está en la cima es el reino); entre ambos están el género, la familia, el orden y la clase. En la banda media de esta jerarquía, los dos periodos de innovación se parecían mucho. Por ejemplo, durante el Cámbrico aparecieron en total unas 470 familias nuevas, cantidad equivalente a las 450 que aparecieron inmediatamente después del Pérmico. Por debajo del nivel de la familia, la explosión cámbrica produjo relativamente pocas especies, mientras que en el pospérmico despuntó una increíble diversidad de especies. Por encima del nivel de la familia, sin embargo, la expansión pospérmica se frustró, pues se generaron pocas clases nuevas y ningún fílum. Es evidente que el motor de la evolución operó en ambos periodos, pero impulsó en el Cámbrico una experimentación extrema mayor que en el pospérmico, y en el pospérmico una mayor variación sobre temas existentes.

A primera vista se diría que esto invalida la hipótesis del nicho ecológico vacío, ya que sin duda hubo, tras la crisis pérmica, oportunidades para la supervivencia de innovaciones evolutivas principales, y sin embargo no cuajaron. De ningún modo, aducen Valentine y sus colegas; la hipótesis se mantiene incólume. Es verdad que en la extinción pérmica desapareció el 96 por ciento de las especies marinas, pero el resto representaba el espectro completo de los nichos, aunque su número absoluto se hubiera reducido radicalmente. Si ocurrió así, las criaturas de la poscrisis, por muy lenta que fuese su expansión, fueron suficientemente diversas en cuanto a planes estructurales para imponer sus derechos en todo el espacio ecológico. Lo que ocurrió fue que no quedó sitio para que prosperasen nuevas formas físicas importantes, ningún nicho sin ocupar para que se instalaran forasteros radicalmente distintos. Las

variaciones sobre temas existentes eran posibles, sí, pero no las fugas con pretensiones.

Entiendo por qué esta hipótesis tiene sus partidarios; es sensata y de sentido común. Pero también la hipótesis genética merece ser tenida en cuenta. En contra de la hipótesis ecológica, este modelo alternativo sugiere que el motor de la evolución no fue cualitativamente el mismo en el Cámbrico temprano que en épocas posteriores. En concreto postula una más prolífica producción de innovaciones evolutivas importantes en la historia temprana de la vida pluricelular. La razón propuesta para explicar la diferencia es un paquete genético, o genoma, organizado «más libremente» al principio. Conforme pasó el tiempo, los elementos del genoma adquirieron cohesión y precisión, y las perturbaciones del sistema se toleraron en progresión decreciente. Los cambios genéticos de relieve, traducibles en cambios morfológicos importantes, son más viables en un genoma organizado con libertad que en otro estrechamente integrado. De aquí que la evolución, en los organismos cámbricos, permitiera los saltos mayores, por ejemplo los saltos al nivel del fílum, y que posteriormente estuviera más constreñida y se limitara a dar sólo brincos modestos hasta el nivel de clase. Esto es, por lo menos, lo que dice la hipótesis.

Cuesta imaginar cómo podría ponerse a prueba esta hipótesis, dado que ya no existen genomas primordiales que puedan analizarse en el laboratorio. Sin embargo es plausible, porque los genomas tuvieron que evolucionar en complejidad, igual que los organismos. En el Cámbrico temprano hubo un movimiento de especies insólitamente rápido; es decir, las especies se originaban y extinguían con rapidez, en comparación con otros periodos de la historia de la Tierra. ¿Supone esto que la evolución, en aquellos tiempos antiguos, estaba menos limitada por la rigidez genómica? Es posible. Pero también podría darse una explicación ecológica, apoyando la idea de que el cambio lo promovió algo exterior, una condición extraordinaria en el medio. La observación de que el movimiento de especies se produjo no sólo entre las pluricelulares sino también entre organismos unicelulares apoya esta opinión. Aunque varias hipótesis han invocado el cambio ambiental (por ejemplo, una alteración en la química del agua del mar que permitiera la formación de esqueletos calcificados), siguen sin encontrarse pruebas convincentes del impulsor físico de la explosión cámbrica. Valentine ha catalogado hace poco veinte hipótesis de esta índole, todas propuestas por diversas autoridades en el curso de varios años. Una lista tan larga tiene que reflejar más la desesperación de los biólogos por dar con una solución colegiada que un verdadero estudio del problema por parte de cualquiera de ellos.

El impresionante misterio de la vida continúa, pues, desconcertando a los biólogos por su cronología, su carácter y su magnitud. Pero tengo que hacer una

confesión: me he guardado la mitad de la historia, seguramente la mitad más fascinante. Que el motor de la evolución operase en el Cámbrico temprano como he descrito (que generase todos los mapas estructurales modernos en una fracción de segundo del tiempo evolutivo) bastaría por sí solo para exigirnos atención y respeto. En los últimos años, sin embargo, se ha puesto de manifiesto que el carácter de la innovación fue más extravagante de lo que había imaginado nadie. Y la historia de la vida que siguió a la explosión fue inimaginable. Las consecuencias para nuestra concepción de la historia de la Tierra son profundas.

Ya dije antes que en aquel breve momento de creatividad de hace quinientos millones de años aparecieron todos los tipos morfológicos modernos. La verdad es que la treintena de tipos animales que forman el mundo biológico moderno estaban inicialmente en compañía de unos setenta que hace mucho que desaparecieron. Edward Wilson, biólogo de Harvard, describió el momento como «un periodo de experimentación salvaje durante el que planes estructurales inexistentes antes o después se inventaron y descartaron».[14] Retroceder a aquella época investigando en profundidad el registro fósil es visitar un mundo ajeno, poblado por criaturas construidas de mil maneras nunca vistas. Los dinosaurios ya nos parecen pasmosos, por su tamaño gigantesco y sus defensas a menudo temibles, pero no son extraños para el ojo de un biólogo, que los ve como variaciones interesantes de los tetrápodos terrestres, que abarcan desde los cocodrilos hasta los elefantes, desde los tupayas hasta los leones. En el Cámbrico temprano había criaturas que, aunque de tamaño pequeño, parecían de ciencia ficción.

Sin embargo, cuando se vieron y estudiaron los frutos de la explosión cámbrica, hace noventa años, se enfocaron de otro modo. La historia de este cambio de actitud es ya clásica en la ciencia y Gould la contó estupendamente en *La vida maravillosa*, publicado en 1989. Es la historia de dos hombres y su dedicación a lo que cada uno por su lado consideraba la verdad.

En noviembre de 1909, Charles Doolittle Walcott descubrió lo que Gould ha llamado «Santo Grial de la paleontología», a saber, Burgess Shale. Mientras estudiaba el terreno en busca de fósiles en las cuestas occidentales que hay entre los montes Wapta y Field, al sur de la Columbia Británica, Walcott se encontró con lo que básicamente era una Pompeya marina o, mejor dicho, varias Pompeyas comprimidas como las hojas de un libro. Las comunidades de aguas superficiales habían quedado sepultadas multitud de veces por aludes de barro, que enterraron y en última instancia conservaron asomos de vida de hace poco más de quinientos millones de años, inmediatamente después de la explosión cámbrica. En una carta contemporánea a un colega, Walcott señalaba que había encontrado «cosas muy interesantes».[15] Tenía razón, pero por distintas causas no reconoció toda su importancia.

Durante los veinte años siguientes de su atareada vida, Walcott estudió periódicamente la grandiosa cantidad de material fósil que él y su equipo se llevaron a Washington. Dibujó escrupulosamente lo que vio y asignó cada criatura a un fílum existente. En otras palabras, Walcott vio en Burgess Shale una imagen del mundo actual, pero más primitiva. Al igual que Darwin, esperaba que posteriores descubrimientos fósiles proporcionaran los antepasados de rigor de la fauna cámbrica, en una larga cadena evolutiva. Y de nuevo, al igual que Darwin, contemplaba la vida progresando de manera gradual, sin altibajos espectaculares. En opinión de Walcott, la fauna del Burgess Shale, prodigiosamente conservada, «preparó básicamente el escenario evolutivo para que se representara el resto de la historia de la Tierra», tal como dije al principio de este capítulo.

La segunda fase de la historia comenzó a fines de los años sesenta, cuando Harry Whittington, paleontólogo de la Universidad de Cambridge, reanudó las excavaciones de Walcott. «Acampamos a más de tres mil metros y desde allí escalamos otros doscientos por la montaña», contaba Whittington. «Tenía a mis pies un centelleante lago verde y miraba hacia el oeste, hacia las nevadas Rocosas. Lo mejor de todo fue encontrar los fósiles más increíbles al partir la roca.»[16] Entre aquellos fósiles había esponjas, medusas, gusanos, moluscos y muchos artrópodos. Unos eran habitantes de las profundidades, fijos o semovientes; otros eran nadadores o flotadores. En las primeras páginas de la vida entraron por primera vez criaturas con esqueleto calcificado. Alrededor del veinte por ciento de las aproximadamente 140 especies del Burgess Shale tenía esqueleto, aunque dicho veinte por ciento fuera sólo el cinco en lo que se refiere a cantidad de individuos. Al margen de su modo de vida, todos los miembros del bestiario de Burgess se conservaron como imágenes planas en capas delgadas de pizarra (*shale* en inglés), con la anatomía externa intacta en casi todos los detalles.

Durante la década siguiente Whittington organizó un pequeño equipo de investigadores jóvenes para que lo ayudaran a estudiar la riqueza del material procedente de las primeras y últimas excavaciones. No tardó en aparecer una pauta en los descubrimientos: no sólo se pudo vincular a ciertas criaturas con descendientes modernos, como Walcott había dicho, sino que también quedó claro que mucha fauna no había tenido descendencia, en contra de las conclusiones de Walcott. Por ejemplo, Whittington y sus colegas encontraron representantes de tres tipos de artrópodos vivos (arácnidos, insectos y crustáceos), y el favorito de todos los buscadores jóvenes de fósiles, el trilobites, cuarta forma de artrópodo que se extinguió a fines del Pérmico, hace 250 millones de años. Pero había más tipos de artrópodos, ninguno de los cuales sobrevivió después del Cámbrico.

Cuanto más analizaban la antigua fauna Whittington y sus colegas, más extrañas les parecían aquellas criaturas. Al final hubo una lista de unas veinte especies «que se

resistieron a todo intento de vinculación con tipos conocidos»,[17] contarían Whittington y Simón Conway Morris, uno de sus jóvenes colegas. Conocidas por buenas razones con el nombre de *Problemática*, estas estrafalarias criaturas no se construyeron de acuerdo con ningún plan estructural conocido. Habían irrumpido explosivamente en escena en aquel breve periodo de «experimentación salvaje» y habían desaparecido con la misma espectacularidad. Whittington y sus colegas fueron capaces de entender esta pauta totalmente imprevista porque no se habían atrincherado, como Walcott, en una estrecha interpretación darwiniana. Walcott había supuesto que la vida cámbrica no era sino una etapa en la progresión hacia la vida moderna y trazó vínculos entre lo antiguo y lo moderno donde no había existido ninguno. Como suele suceder en la ciencia, Walcott vio en las pruebas que tenía delante lo que quería ver.

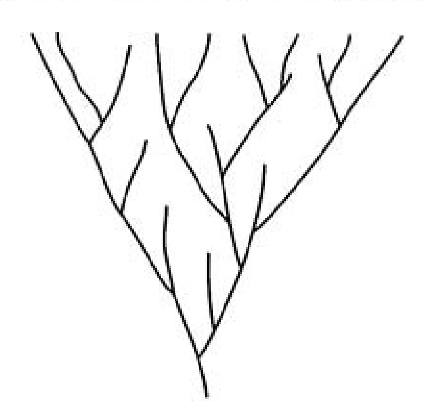
El descubrimiento de que la explosión cámbrica había generado un hervidero de planes estructurales inéditos, la mayoría de los cuales desapareció muy pronto, puso sobre el tapete una cuestión de primera magnitud: qué determinaba quiénes serían los ganadores y quiénes los perdedores. «Podríamos formular dos preguntas relacionadas entre sí», observó Gould. «Primera: ¿se condenaron aquellos tipos únicos de Burgess a causa de un plan inadecuado para su breve existencia como experimentos fallidos en el primer florecimiento de la vida animal? Y segunda: en cuanto a los grupos vivos con representantes en Burgess, ¿habríamos sabido, en este comienzo, cuáles estaban destinados al dominio y cuáles a la condición periférica en los rincones y grietas de un mundo despiadado?»[18]. Estas preguntas se dirigen al centro mismo de nuestra concepción de la historia de la vida.

Según la concepción tradicional (esto es, la expresión de raíz darwiniana de que «toda la naturaleza está en guerra, un organismo con otro»),[19] la competencia es la palestra donde se prueba el proyecto anatómico, afilado por selección natural: el proyecto superior tiende a la victoria en la carrera de la vida; el inferior camina hacia el olvido. Así precisamente caracterizaron los acontecimientos Conway Morris y Whittington en un artículo publicado en 1979. «De muchos animales cámbricos se diría que son experimentos de exploración de diversos grupos pluricelulares, destinados a ser sustituidos a su debido tiempo por organismos mejor adaptados», observaron. «Parece que el rasgo dominante, tras la expansión cámbrica, es el triunfo y enriquecimiento de la cantidad de especies de grupos relativamente escasos, a expensas de la extinción de muchos otros grupos.»[20]

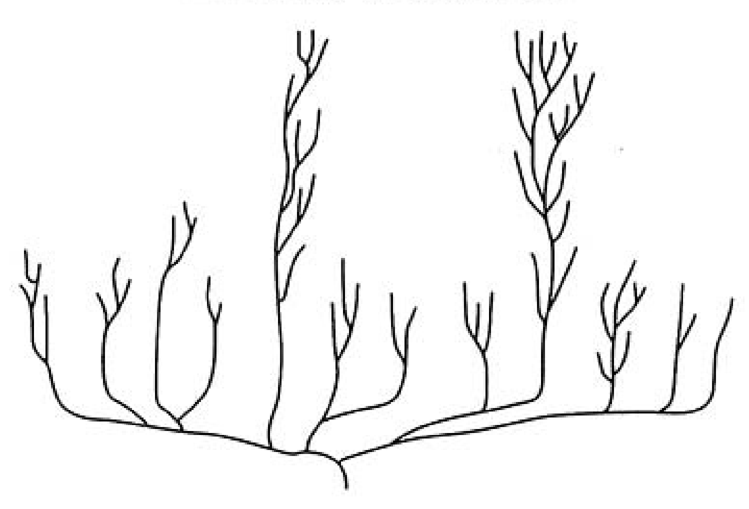
El primer paso, en la revolución derivada de la reinterpretación de Burgess Shale, fue por tanto admitir la idea de que pone de manifiesto un mundo de existencia evanescente: evolucionaron muchos más planes estructurales de los que al final sobrevivieron. El segundo paso fue señalar, como característica de las víctimas de esta extinción en masa, que sucumbieron por su inferior proyecto, en el más puro

estilo darwiniano. No es sorprendente que ésta fuera la concepción canónica. Hubo un tercer paso, sin embargo, y una vez más, imprevisto.

El cono de la diversidad creciente



Extinción y diversificación



Dos enfoques de la diversidad creciente de formas corporales en el tiempo. Arriba: La idea tradicional de que la diversidad aumentó gradualmente en el tiempo. Abajo: La idea de que la diversidad fue mayor en la explosión cámbrica, pasada la cual muchas formas desaparecieron. (Copyright Stephen Jay Gould/W. W. Norton)

Cuanto más estudiaban Whittington y sus colegas los animales cámbricos, más se daban cuenta de que no encontrarían ninguna superioridad competitiva obvia en los que habían sobrevivido, ni debilidad alguna en los que habían desaparecido. Gould, en *La vida maravillosa*, rastreó en las publicaciones de Whittington y sus colegas la gradual constatación de que la competencia no era quizá la respuesta. «Hablaban cada vez menos de proyectos "primitivos" y se esforzaban en proporción creciente por identificar las especializaciones funcionales de los animales de Burgess. Escribían menos sobre perdedores previsibles y mal adaptados y comenzaban a comprender que no sabemos por qué *Sanctacaris* es primo de un importante grupo vivo, mientras que *Opabinia* es un recuerdo congelado en piedra.»[21]

Si la supervivencia y la extinción no están determinadas por la mejor o peor adaptación de las especies, ¿cuál es entonces la explicación? «Estamos obligados a

acariciar la fuerte sospecha de que lo que diezmó Burgess fue más una lotería a gran escala que una carrera donde vencían los rápidos y potentes»,[22] sugirió Gould. Conway Morris estaba claramente de acuerdo al escribir en un importante artículo, publicado en *Science* en octubre de 1989, que «las pautas macroevolutivas que sancionan la vida fanerozoica dependen de la extinción al azar».[23] Ha desaparecido la idea tradicional del éxito potenciado por la superioridad de proyecto y que concebía un mundo poblado por especies paulatinamente mejor adaptadas y más complejas. Ahora tenemos un mundo poblado por supervivientes afortunados en un juego de casualidades.

Cuando he dado conferencias sobre los orígenes humanos y la complejidad ecológica que muchos luchamos por conservar, oigo las preguntas de los oyentes y percibo cierto malestar ante la idea de que todo lo que hay en la historia de la vida es simple casualidad. Percibo el deseo de que les confirmen que el universo de los seres es como debería ser, que nuestro lugar en él es previsible. Volveré sobre este asunto en otro capítulo. Baste decir por ahora, en este repaso general del comienzo de la vida compleja, que es lícito que «acariciemos la fuerte sospecha» de que una parte de casualidad guía la historia de la vida.

Por eso, cuando dije más arriba que con la explosión cámbrica «el escenario de la evolución quedó básicamente preparado para que se representara el resto de la historia de la Tierra», decía sólo parte de la verdad. Es cierto que todos los tipos existentes aparecieron entonces. Pero si el azar tiene un papel significativo en el desarrollo de la historia de la Tierra y la supervivencia de aquel inicial florecimiento vital no dependió de un buen proyecto, una serie completamente distinta de actores podría poblar hoy el mundo. Como dijo Gould, «El vídeo de Dios contiene un millón de guiones».[24] Pasemos la cinta otra vez, sugirió, y el resultado podría ser muy diferente.

Conway Morris expuso de forma gráfica esta idea de la contingencia histórica en el artículo que publicó en *Science* en 1989: «¿Y si se repitiera la explosión cámbrica? De lejos, el mundo de los metazoos tendría seguramente un aspecto bastante parecido; incluso los más pintorescos animales de Burgess Shale siguen modalidades de vida reconocibles y en consecuencia los ocupantes del teatro ecológico deberían representar los mismos papeles. Pero si mirásemos de cerca, los actores podrían sernos desconocidos.» El resultado, dijo, podría ser una biota «digna de la más pura ciencia ficción»[25].

Comencé el repaso de la explosión cámbrica con los estromatolitos de la orilla occidental del lago Turkana y termino con ciencia ficción en potencia. Ha sido un viaje frívolo, pero esencial, si queremos valorar nuestro lugar en el universo de los seres y nuestro papel en su futuro. Aplaudo la defensa que hace Gould de la contingencia histórica como actriz fundamental en el desarrollo de la vida en la

Tierra, para que veamos nuestro mundo como uno de los muchos mundos biológicos posibles. Gould no niega que la selección natural es importante en la adaptación de las especies a su entorno, pero la considera una influencia local, sin nada que ver con la modelación de la historia general de la vida. Esto coincide con mi propia experiencia con el registro fósil, pero creo que Gould, al igual que muchos biólogos evolucionistas, va demasiado lejos. Por ejemplo, estoy de acuerdo con la respuesta que dio Jeffrey Levinton a la pregunta ¿proyecto o casualidad?: «Creo que lo mejor que puede decirse por el momento es que hay parte de verdad en ambas alternativas». [26]

La historia de la Tierra está sin duda formada hasta cierto punto por fuerzas casuales, sobre todo en la selección de las víctimas de las extinciones en masa. Pero salta a la vista y al sentido común que la vida ha progresado de lo simple a lo complejo, tanto en anatomía como en conducta. Donde el mundo estuvo poblado antaño por organismos que no eran mayores que una célula hay hoy miríadas de especies construidas con multitud de clases celulares. Donde el mundo estuvo poblado antaño por organismos que se limitaban a reaccionar al medio como si fueran autómatas, hay hoy miríadas de especies que reflexionan antes de actuar. Donde antaño no hubo en el mundo ni una sola especie capaz de tener conciencia de sí, hoy hay una por lo menos dotada con esta facultad. El motor de la evolución ha sido ciertamente fructífero.

4
Las cinco grandes

A menudo me preguntan cómo encontramos fósiles mis colegas y yo. La respuesta es más sencilla de lo que espera la mayoría: nos limitamos a dar un paseo y buscarlos. Hay que estar en el lugar idóneo, desde luego; es decir, mirar rocas formadas hace millones de años y que la erosión ha puesto al descubierto. Y la acumulación de los sedimentos que formaron la roca tiene que haberse producido en circunstancias que favorecieran la conservación de huesos, por ejemplo en localizaciones próximas a los ríos y lagos. Casi todos los sedimentos de los alrededores del lago Turkana, al norte de Kenia, donde vengo encontrando fósiles humanos antiguos desde 1969, se depositaron hace entre uno y cuatro millones de años. El viento, la lluvia y los torrentes estacionales pasan, en efecto, hacia atrás las hojas del tiempo geológico a medida que erosionan sedimentos antiguos y ponen al descubierto los huesos de antepasados nuestros que vivieron allí hace mucho.

Además de reliquias de humanos primitivos, en el lago Turkana encontramos huesos petrificados de cerdos, cocodrilos, elefantes, monos, antílopes diversos y muchas otras especies. Con un poco de imaginación, puede trazarse en la mente un dibujo de la vida antigua, que sería muy parecida a la vida actual en esos mismos lugares. Habría, sin embargo, diferencias clave: todas las especies de la imaginada escena antigua serían distintas de las que forman la comunidad actual, unas sólo un poco y otras de manera espectacular. Por ejemplo, existieron cocodrilos con un hocico extraordinariamente largo, elefantes cuyos colmillos colgaban de la mandíbula inferior en vez de curvarse hacia arriba como en la especie actual, y especies muy pequeñas de hipopótamos. Habría por añadidura muchas más especies, entre ellas tres de elefantes, tres de hipopótamos y varias de cerdos. Así, cuando paseo por terrenos de arenisca de los alrededores del lago Turkana y veo los restos de criaturas que vivieron hace dos, tres, cuatro millones de años, veo algo más que restos de antiguas comunidades ecológicas; veo rastros de comunidades que ya no existen porque las especies ya no existen. Han desaparecido.

La muerte, para un paleontólogo, es un fenómeno vital, como la extinción lo es para la evolución. Desde que aparecieron las primeras criaturas pluricelulares, en la explosión cámbrica, se calcula que han vivido unos treinta mil millones de especies. Según ciertas estimaciones, en la Tierra hay ahora unos treinta millones de especies. Esto significa que ha desaparecido el 99,9 por ciento de todas las especies que han vivido hasta hoy. Como dijo un estadístico bromista, «en una primera aproximación, todas las especies han desaparecido». Está claro que no todas, de lo contrario no estaríamos aquí para contemplar la asombrosa naturaleza. Pero el arraigo de la vida

en la Tierra es, sin lugar a dudas, mucho más precario de lo que nos gustaría creer.

En los 530 millones de años transcurridos desde la explosión cámbrica han aparecido treinta mil millones de especies, algunas de las cuales eran variaciones ligeras de temas existentes, mientras que otras anunciaban importantes innovaciones adaptativas, como las mandíbulas, el huevo amniótico y la capacidad de volar. Los biólogos, como era de esperar, han sentido curiosidad por los mecanismos que condujeron a aquellas innovaciones y en particular por los procesos que producen especies nuevas. La biología y la ecología evolucionistas estudian sobre todo la especiación y la interacción de las especies en el interior de las comunidades. La duración media de la vida de las especies animales es de cuatro millones de años. Es innegable la importancia, en la historia de la vida en la Tierra, del equilibrio entre la especiación y la extinción, y sin embargo los biólogos evolucionistas han venido descuidando el tema de la extinción hasta hace unos años.

Hay varias razones que explican este olvido, aunque intervinieron dos factores que le dieron la vuelta. El primero fue que hace más de una década se sugirió que los dinosaurios se habían extinguido porque un gran asteroide chocó con la Tierra hace sesenta y cinco millones de años; el segundo fue la paulatina constatación de que actualmente somos testigos de extinciones a escala monstruosa por culpa de las invasiones humanas de los ecosistemas. El primero prendió en la imaginación a causa de su espectacularidad; el segundo porque despertó la preocupación por nuestro inquilinato aquí en la Tierra. A consecuencia de la reciente fiebre de investigaciones sobre el más antiguo de los procesos, las suposiciones de los biólogos sobre la extinción (sus causas y sus efectos, que son más importantes aún) se han convertido en humo.

Este capítulo versará sobre dos aspectos de la extinción, mejor dicho, de la extinción en masa, de los periodos de la historia de la Tierra en que una parte importante de las especies existentes desapareció para siempre. El primero es la verdad de tales acontecimientos, algo que Darwin y otros negaron enérgicamente. El segundo es la causa de estas desapariciones, tema sobre el que hay más polémica que acuerdo.

En el capítulo siguiente nos ocuparemos de otros dos aspectos de la extinción en masa. Uno es su efecto en la historia de la vida y, más concretamente, el problema de qué determina cuáles especies sobreviven a estas extinciones y cuáles sucumben. El segundo es el de las consecuencias que acarrean; es decir, la reacción de la biota ante la mortandad. Con mucha incertidumbre alrededor de estos asuntos, algo ha quedado claro en los últimos años: antaño considerada un componente pasivo del curso de la evolución, la extinción en masa se tiene hoy por uno de los grandes determinantes de sus resultados.

Como en muchos temas de biología evolucionista, la influencia de Darwin en la idea moderna de la extinción ha sido grande. En *El origen de las especies*, señaló su existencia diciendo: «Creo que nadie se ha asombrado más que yo de la extinción de las especies».[27] Darwin identificó cuatro rasgos clave en el fenómeno. El primero, que fue un proceso gradual y continuo: «… especies y grupos de especies desaparecen gradualmente, uno tras otro, primero de un lugar, luego de otro, y por último del mundo».[28] El segundo, que el ritmo de extinción fue básicamente uniforme y no tuvo aceleraciones ocasionales, produciendo extinciones en masa, como muchos paleontólogos de la época creían: «En términos generales está muy olvidada la vieja idea de que todos los pobladores de la Tierra fueron barridos en periodos sucesivos por catástrofes».[29]

El tercero, que las especies se extinguen porque de alguna manera son inferiores a sus competidores: «La teoría de la selección natural se basa en la creencia de que cada nueva variedad, y en última instancia cada nueva especie, aparece y se sostiene gracias a que posee alguna ventaja sobre aquellas con las que entra en competencia; y la consiguiente extinción de las formas menos favorecidas se produce a continuación de manera inevitable».[30] La cuarta, que la extinción es parte integral de la selección natural, como se ve por la cita anterior. Darwin dijo además: «Así pues, la aparición de formas nuevas y la desaparición de otras antiguas… están relacionadas».[31]

Hay aquí dos temas que afectan al meollo mismo de la actual polémica científica: la idea de que las especies se extinguen porque no pueden competir y el ritmo de la extinción en el tiempo.

La comparación darwiniana de la extinción y la inferioridad adaptativa procede sin lugar a dudas de su teoría de la selección natural y hasta hace muy poco ha influido poderosamente en el pensamiento de los biólogos. Muchos paleontólogos de la época de Darwin arguyeron que el registro fósil indicaba brotes ocasionales de extinción, crisis en la historia de la vida. Los rastros que indicaban tales extinciones en masa tenían que deberse, según Darwin, a las deficiencias del registro fósil, eran un defecto del registro, no un reflejo de la realidad. Su insistencia en que la extinción procedió gradualmente y sin aumentos bruscos y ocasionales se debe a dos factores. Primero, la selección natural es un proceso gradual, y por lo tanto la extinción también tiene que ser gradual, dado que una y otra están relacionadas. El segundo argumento reflejaba el nuevo paradigma que se estaba formando en geología, el del uniformismo. Vale la pena rastrearlo un poco porque ilustra el origen de la actitud de Darwin a este respecto y el de la parecida tendencia de muchos paleontólogos modernos, patente en su reacción a la sugerencia de que la desaparición de los dinosaurios la produjo el impacto de un asteroide.

El hecho de la extinción lo estableció el anatomista francés Georges Cuvier, a fines del siglo XVIII, al demostrar que los huesos de mamut eran diferentes de los del

elefante moderno. La inevitable conclusión era que la especie mamut no existía ya. Tras estudiar a fondo los depósitos fósiles de la cuenca de París, Cuvier llegó a identificar lo que en su opinión eran épocas de crisis, o catástrofes, en la historia de la Tierra, momentos en que grandes cantidades de especies desaparecieron en poco tiempo. Estas observaciones dieron lugar a infinitas obras geológicas a comienzos del siglo XIX. En ellas se identificaban intervalos de grandes cambios que levantaban fronteras entre periodos geológicos que recibieron los siguientes nombres: Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Carbonífero, Pérmico, Triásico, Jurásico, Cretácico, Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno. Plioceno, Pleistoceno y Holoceno. Pesadilla de los estudiantes de geología, que tienen que aguzar el ingenio para idear métodos eficaces para memorizarlos, estos nombres siguen formando parte de la escala del tiempo geológico que utilizamos en la actualidad.

Cuvier se fijó en dos de las que según él eran catástrofes particularmente devastadoras que dividían la historia de la vida pluricelular, conocida como Fanerozoico, o vida visible, en tres eras: Paleozoico (vida antigua), desde hace 530 millones de años hasta hace 225 millones, Mesozoico (vida media), desde hace 225 millones hasta hace 65 millones, y Cenozoico (vida moderna), desde hace 65 millones de años hasta el presente. Cuando se habla con geólogos hay que recitar a menudo aparatosas listas de nombres de eras y periodos, porque para ellos, como para Cuvier, representan el verdadero recuento de la historia de la vida. Cuvier vivió en una época anterior a la teoría de la evolución y, por tanto, consideraba las catástrofes como acontecimientos individuales que borraban la vida existente, preparando la escena para nuevas oleadas de creación. Se decía que el Diluvio Universal había sido uno de aquellos acontecimientos; al final se estimó que las crisis habían sido en total unas treinta. El esquema de Cuvier acabó conociéndose como catastrofismo.

El catastrofismo recibió ataques antes incluso de que apareciese la teoría darwiniana, y el movimiento lo encabezó el geólogo escocés Charles Lyell, que seguía los pasos iniciados por su paisano James Hutton. A principios de la década de 1830-1840 Lyell publicó sus *Principios de geología*, en tres volúmenes, donde decía que los procesos geológicos que vemos en la actualidad (la erosión del viento y la lluvia, los terremotos y volcanes, etcétera) eran responsables de todos los cambios geológicos acaecidos en la historia de la Tierra. «No estamos autorizados a recurrir a agentes extraordinarios» para explicar cambios al parecer importantes en el pasado geológico, decía. Durante largos periodos de tiempo, alegaba, los cambios pequeños se acumulan y producen efectos grandes. La opinión de Lyell acabó encarnándose en la expresión «el presente es la clave del pasado», lo que significa que podernos aprovechar nuestras experiencias para comprender acontecimientos y procesos del pasado. Pero contiene un defecto lógico. La experiencia humana de lo geológicamente posible es limitadísima, porque hace muy poco que estamos aquí y es

muy improbable que todos los procesos geológicos que pueden dar forma a la Tierra se hayan producido para que los presenciemos.



Todas las sociedades han elaborado mitos (precientíficos) sobre la formación de la Tierra. Aquí vemos a Pan-Kou-Ché, el creador chino, un frágil anciano que trabaja con denuedo, cubierto de sudor, para esculpir la corteza terrestre en una caótica masa de rocas.

El esquema de Lyell acabó conociéndose como uniformismo, y durante un tiempo se libró una batalla intelectual entre él y el catastrofismo. Venció el uniformismo sin discusión, y el catastrofismo fue desterrado de la palestra intelectual como si fuera una reliquia del pensamiento antiguo, regida, según se decía, por principios religiosos en vez de científicos.

El auge del uniformismo en biología echó los cimientos de la teoría gradualista de Darwin en biología, a saber, la selección natural, en la que durante un largo periodo de tiempo se acumulan cambios menores que redundan en un cambio evolutivo de relieve. Y así como Lyell había rechazado la idea de las catástrofes en la historia geológica, alegando que era como recurrir a «agentes extraordinarios», también Darwin rechazó la idea de crisis en la historia de la vida, aduciendo que era como recurrir a la intervención sobrenatural, la del catastrofismo. Había combatido durante mucho tiempo por sustituir una explicación sobrenatural de la precisa adaptación de la vida a sus circunstancias por otra naturalista. No transigía ante nada que oliera a sobrenatural, como la repentina extinción de millones de seres seguida de rachas

creadoras.

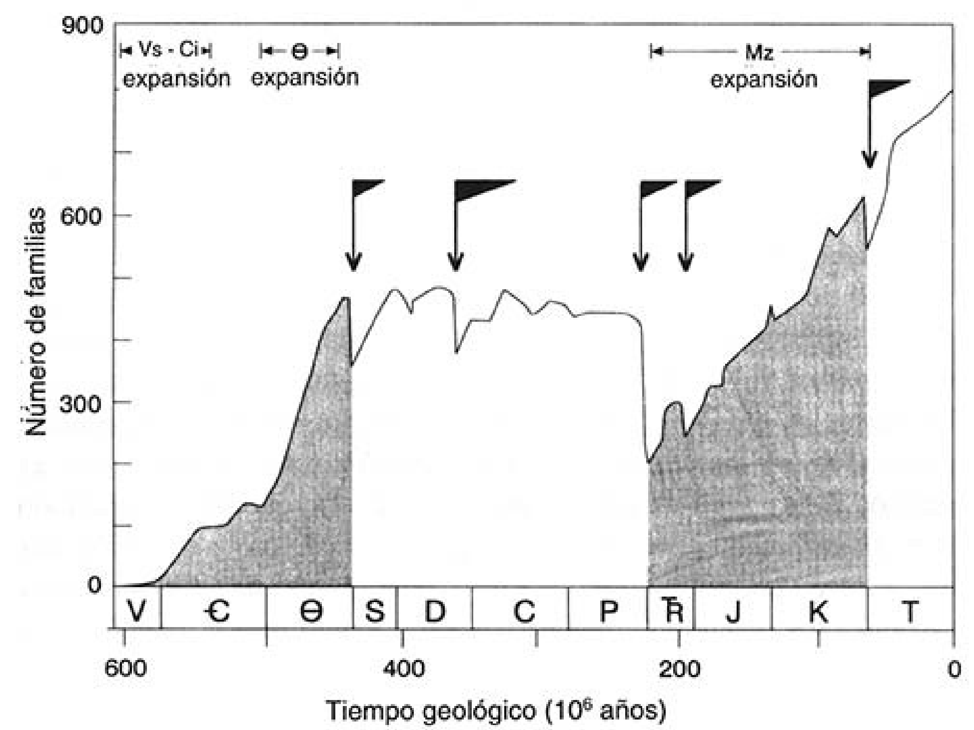
Puede que el catastrofismo fuera derrotado en el mundo académico, pero la idea catastrofista sobre las pautas seguidas por la vida en la historia de la Tierra se mantuvo con tenacidad. Cuanto más investigaban los geólogos y paleontólogos en yacimientos antiguos, y veían rastros de extinciones en masa, más convencidos estaban de que de vez en cuando se habían producido acontecimientos catastróficos. Cuando el registro se fue haciendo más completo y los vacíos lamentados por Darwin se fueron llenando, la convicción de las pruebas de las crisis periódicas no hizo sino aumentar. La historia de la Tierra no es, evidentemente, una historia de progresión gradual, como habían deseado con fervor Lyell y Darwin, sino de convulsiones esporádicas y espasmódicas. Algunas tuvieron un alcance moderado y en ellas desaparecieron entre el 15 y el 40 por ciento de las especies animales marinas, pero hubo otras más implacables.

Este último grupo, conocido como el de las Cinco Grandes, comprende crisis bióticas en las que desapareció por lo menos el 65 por ciento de las especies en un lapso geológico breve. En una, que culminó el periodo pérmico y la era paleozoica, se calcula que desapareció más del 95 por ciento de las especies animales marinas. Como observó a propósito de la extinción pérmica el geólogo David Raup, de la Universidad de Chicago, «si estas estimaciones son razonablemente seguras, la biología global (por lo menos para los organismos superiores) estuvo al borde mismo de la destrucción total».[32]

Muchos de los grandes cambios en la historia de la Tierra se han inferido del registro fósil marino, por la sencilla razón de que es mucho más completo que el terrestre. (Los huesos se cubren de sedimento más rápidamente, comenzando de este modo su viaje al registro fósil. En tierra, los cadáveres son destrozados por los animales carroñeros y pisoteados por los rebaños de paso, y pueden estar durante siglos expuestos al aire seco y caliente, pulverizarse y no quedar así enterrados bajo los sedimentos.) Aunque en el pasado había probablemente entre diez y cien veces más especies animales en tierra que en el mar, como sucede actualmente, alrededor del 95 por ciento de las 250.000 especies conocidas en el registro fósil corresponde a animales marinos. El contraste ilustra la pobreza de la imagen que tenemos sobre la vida terrestre del pasado. Para que un brote de mortandad se califique de extinción en masa, sin embargo, los paleontólogos exigen que haya constancia del efecto catastrófico tanto en el registro marino como en el terrestre, pues es esto lo que revela que se trata de un acontecimiento global.

Si miramos un registro visual de la diversidad de la vida en la Tierra (es decir, el número de especies que hay en cualquier periodo), veremos que empieza muy bajo, en el Cámbrico, y que sube hasta alcanzar el punto máximo en el presente. Darwin pensaba que este incremento seguía un curso uniforme, pero no era así. Las Cinco

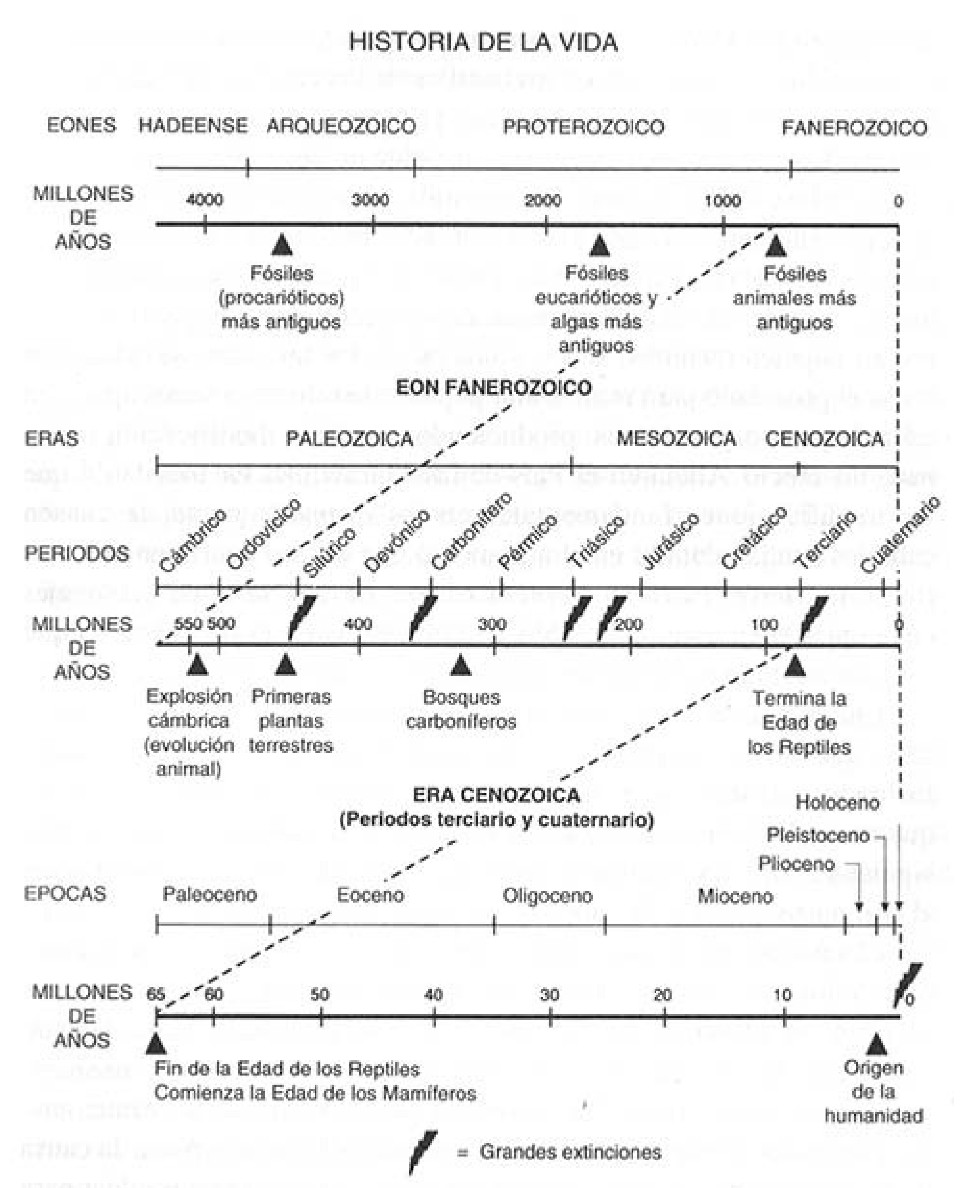
Grandes lo interrumpieron de forma espectacular, hundiendo la diversidad hasta niveles peligrosamente bajos. Por decirlo gráficamente, en vez de ver una línea recta que sube de izquierda a derecha (siguiendo la escala del tiempo convencional), vemos una línea quebrada, en forma de sierra. Estos pocos acontecimientos principales, desde el más antiguo hasta el más reciente, fueron: el fin del Ordovícico (hace 440 millones de años), el Devónico tardío (hace 365 millones de años), el fin del Pérmico (hace 225 millones de años), el fin del Triásico (hace 210 millones de años) y el fin del Cretácico (hace 65 millones de años).



En la historia de la vida, las extinciones en masa han reducido cinco veces de manera espectacular la diversidad biológica existente. Adviértase cómo ha crecido la diversidad en el tiempo, a pesar de estas crisis ocasionales, alcanzando el punto máximo cerca de nuestro presente. *Vs*: Vendiense superior, y *Ci*: Cámbrico inferior. (Reimpreso por gentileza de David Raup y Jack Sepkoski.)

Los paleontólogos, sin embargo, comprendieron desde el principio que las crisis bióticas fueron algo más que una interrupción en el flujo de la vida, pues con cada acontecimiento se modificó el carácter de las comunidades ecológicas, a veces de manera espectacular. (Es lo que Cuvier había interpretado como resultado de nuevas oleadas de creación.) La modificación más famosa fue, como se sabe, la del fin del Cretácico, hace sesenta y cinco millones de años, y que acabó con el reinado terrestre de los dinosaurios, que había durado 140 millones de años. En la era que siguió, la cenozoica, los mamíferos acabaron dominando la vida vertebrada en tierra. Del mismo modo, la gran extinción pérmica asestó un golpe casi mortal a los reptiles mamiferoides, que habían gobernado la vida terrestre durante ochenta millones de años. No se recuperaron y su papel pasaron a representarlo muy pronto los

dinosaurioides. Cada extinción en masa seguía la misma pauta, pero no es éste el lugar para entrar en los detalles de los cambios producidos en los reinos terrestre y marino. Para eso ya están los manuales de paleontología. Lo que aquí nos interesa es la pauta de las extinciones.



La historia geológica de la vida se remonta a hace más de 3500 millones de años, momento en que aparecieron los primeros organismos unicelulares. Los episodios clave de la evolución se sitúan dentro de las divisiones del tiempo geológico: eones divididos en eras, eras en periodos y los periodos en épocas. La biodiversidad quedó radicalmente reducida a causa de las grandes extinciones, que en el diagrama tienen forma de rayos. (Reimpreso por gentileza de los editores de *The Diversity of Life*, de Edward O. Wilson, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass., Copyright © by Edward O. Wilson.)

Si la historia de la vida se contempla como una obra de teatro que se representa en el planeta Tierra, entonces puede decirse que tiene repetidos entreactos después de los cuales el reparto cambia: unos personajes, hasta entonces importantes, desaparecen por completo o interpretan papeles menores; otros, situados en los

laterales, se adelantan hacia el proscenio para representar papeles de relieve; a veces aparecen además personajes nuevos, produciéndose así una modificación continua, un efecto Alicia-en-el-País-de-las-Maravillas. Es inevitable que las modificaciones fundamentales en las *dramatis personae* causen cambios fundamentales en el argumento. Lo mismo ocurre en la historia de la Tierra. El *Homo sapiens* es uno de una serie de personajes cuya entrada en escena se debió a la influencia de la perturbación que supuso la última extinción en masa, la del fin del Cretácico.

Una pregunta que ha adquirido importancia en los últimos años es hasta qué punto es previsible la modificación del reparto de personajes. En otras palabras: ¿qué determina las especies que sobreviven y las que sucumben en las extinciones en masa? Lo analizaré en el capítulo siguiente. Aquí me limitaré a preguntar qué es lo que precipita la crisis al comienzo: ¿cuál es la causa de las extinciones en masa?

El satírico Will Cuppy aportó una solución, al menos para la cuestión de los dinosaurios. En su libro de 1941 titulado *Cómo extinguirse* escribió: «La Edad de los Reptiles tocó a su fin porque había llegado demasiado lejos y fue una equivocación desde el comienzo mismo». Puede que tuviera razón. En cualquier caso, los biólogos evolucionistas y los paleontólogos hace mucho que renunciaron a explicar la causa de las extinciones en masa, por considerarla demasiado compleja para entenderla.

En el curso de los años ha habido multitud de sugerencias para identificar los presuntos agentes causantes de las extinciones, algunas disparatadas e improbables, como los efectos letales de cercanas explosiones de supernovas. Entre las hipótesis que se han considerado están el enfriamiento global, el descenso del nivel del mar, la predación y la competencia entre especies. En apoyo de cada una pueden aducirse distintos argumentos y todas tienen defensores entusiastas. En conjunto, sin embargo, manifiestan una tendencia que rebasa los límites de la convicción científica, según David Raup. «Veo aquí más de un rasgo de antropomorfismo», escribió en su libro de 1991 *Extinction: Bad Genes or Bad Luck?* (Extinción: ¿Malos genes o mala suerte?) «¿Y si la lista de causas probables de extinción fuera sólo una lista de cosas que nos amenazan como individuos?».[33] No puede negarse que la extinción ejerce sobre nosotros cierta fascinación horrible, porque si especies o grupos de especies que han sobrevivido durante millones de años, por ejemplo los dinosaurios, pueden caer en el olvido evolutivo, ¿qué puede pasarle al *Homo sapiens*? ¿También nosotros somos vulnerables? Entre las actitudes que rigen la polémica sobre la extinción muchas reflejan puntos de vista tanto emocionales como científicos.

Quienes han comparado las condiciones globales que dominaron durante cada una de las Cinco Grandes han advertido que un factor común es un descenso en el nivel del mar o regresión marina. El nivel del mar puede bajar por diversas razones, entre ellas la glaciación polar extensiva y cambios en la configuración de los continentes mientras viajan con las placas móviles que forman la corteza terrestre. El

efecto potencial sobre la vida marina en aguas poco profundas es espectacular. Cuando cae el nivel del mar, los escudos continentales quedan al descubierto, reduciendo así el hábitat disponible para las especies de aguas superficiales. Los biólogos conocen bien la sencilla relación entre hábitat disponible y cantidad de especies: a menor área disponible, menos especies pueden existir. La regresión marina no parece, pues, una candidata convincente a causante de una extinción en masa. Por definición, las extinciones en masa deben afectar a la vida no sólo de las aguas superficiales, sino también de las profundas, y a la vida terrestre. Sin embargo, hay una conexión posible entre el descenso de los mares y las mortandades en tierra, como ha señalado Paul Wignall, paleontólogo de la Universidad de Leeds, a propósito de la extinción del Pérmico.

Este acontecimiento, recordémoslo, aniquiló más del 95 por ciento de las especies animales marinas y casi la misma proporción de las terrestres. Pasara lo que pasase entonces, tuvo que ser muy contundente. El fin del periodo pérmico coincidió con un momento en que todos los continentes del mundo estaban unidos, en virtud de la deriva continental, y formaban un solo supercontinente, *Pangea*, que se extendía de un polo al otro. Este hecho por sí solo redujo el hábitat disponible para las especies de aguas superficiales. Imaginemos cuatro cuadrados de un centímetro de lado, cada uno con un perímetro total de cuatro centímetros; en conjunto, los cuatro cuadrados tienen dieciséis centímetros. Unámoslos ahora y formemos un solo cuadrado de dos centímetros de lado. El perímetro total será de ocho centímetros, la mitad de la anterior configuración. Lo mismo ocurre con los continentes por separado y con los hábitats de aguas superficiales disponibles. La formación de *Pangea*, por tanto, pudo haber aniquilado las especies de esos hábitats por este solo mecanismo, como ya dijo Stephen Jay Gould hace unos años.

Combinémoslo con la regresión marina y las especies de estos hábitats sensibilizados tendrán garantizada la catástrofe. Y mientras los escudos continentales quedan al aire libre y se secan, añade Wignall, se erosionan y sufren la oxidación de la materia orgánica que antaño poblaba el fondo del mar. La oxidación extensiva de materia orgánica extrae oxígeno de la atmósfera y entrega carbono a cambio. Puede que el oxígeno atmosférico descendiera a la mitad del nivel actual. Los animales terrestres, sobre todo los vertebrados activos, habrían sido particularmente sensibles a tal modificación atmosférica. Los niveles marinos volvieron a subir rápidamente a finales del pérmico y el proceso redujo no sólo los hábitats terrestres sino también el oxígeno del agua del mar, en virtud de un mecanismo desconocido. Por lo tanto, dice Wignall, «la extinción permicotriásica parece que fue un caso de muerte por asfixia, tanto para la vida marina como para la terrestre».[34]

Douglas Erwin, del Instituto Smithsoniano, está de acuerdo en que operó más de un agente en aquella extinción en masa, la más masiva de todas; actuó «una red

compleja y no un solo mecanismo».[35] Además de la regresión y transgresiones marinas, menciona la inestabilidad climática originada por la configuración del supercontinente y por el anhídrido carbónico liberado por la ingente actividad volcánica en Siberia, que formó una llanura de lava de más de mil kilómetros de diámetro, cerca del lago Baikal. Detallo estas explicaciones, no porque se haya demostrado su realidad, sino a título de ejemplo de la complejidad de los acontecimientos capaces de aniquilar especies a escala gigantesca. Un último comentario sobre la regresión marina y su potencial como agente causante de extinciones en masa: casi todas, no todas, las extinciones en masa están relacionadas con un descenso del nivel del mar; la regresión marina, en cambio, no siempre aparece relacionada con ellas. Está claro que tuvieron que intervenir otros factores.

La siguiente candidata más votada para mensajera de la muerte masiva es el cambio climático planetario, en particular el enfriamiento global. Según Steven Stanley, paleontólogo de la Universidad Johns Hopkins, el cambio climático es la causa más importante de las crisis de la historia de la vida. Stanley, que ha estudiado el tema de la extinción de especies entre los animales de aguas superficiales de Norteamérica, echa casi toda la culpa al enfriamiento. El mecanismo es sencillo y directo, y tiene el mérito de afectar tanto a los organismos marinos como a los terrestres. «Hay un hecho sencillo que hace que el cambio climático sea la probable causa general de las extinciones en masa», observa Stanley, «y es la relativa facilidad con que un cambio en las temperaturas del planeta puede destruir miríadas de especies.»[36]

Las especies están adaptadas a las condiciones locales, entre ellas los recursos alimentarios y la temperatura dominante, sea ártica, templada o tropical. Si el planeta se enfría, los hábitats (que están determinados por los límites de la temperatura) se encogen hacia los trópicos. La temperatura global ha fluctuado mucho y rápidamente durante la historia de la Tierra, y la reacción típica de las especies a estos cambios es la migración: hacia el ecuador en épocas de enfriamiento, alejándose de él en periodos de calor. Los mapas de los bosques de las dos Américas durante los últimos veinte mil años revelan este efecto asombroso, ya que el clima pasó de una edad glacial a un periodo interglacial, el clima de nuestros días. Al principio, los bosques amazónicos eran simples manchas dispersas, y los bosques caducifolios y de coníferas de América del Norte habían emigrado hacia el sur. Cuando retrocedieron los hielos, los refugios selváticos del Amazonas se expandieron y se fundieron, y el roble y el alerce emprendieron su excursión septentrional en Norteamérica, siguiendo los pasos radiculares de las coníferas.

Estas migraciones nunca son sencillas, con hábitats que se mueven al unísono; por el contrario, las especies se dispersan en múltiples direcciones y acaban formando comunidades de distinta composición. Sin embargo, el fenómeno ilustra la necesidad

de las especies de trasladarse cuando cambia el clima. Si pueden. A veces el clima cambia con mucha rapidez y alcance; y las barreras geográficas, como los ríos y las montañas, pueden colapsar la única carretera disponible. Cuando esto sucede, el resultado más probable es la extinción. En la historia de la Tierra ha habido glaciaciones generales periódicas, que unas veces han coincidido con extinciones en masa y otras no. En consecuencia, aunque el enfriamiento global es sin duda importante en muchas crisis bióticas, no puede ser la causa primaria de todas, como arguye Stanley.

En el abanico de causas inmediatas y potenciales de extinción, la regresión marina y el cambio climático global sólo son dos entre otras, pero destacan como las más importantes. En ambos casos, sin embargo, la causa inmediata podría ser resultado de otras causas en último extremo, por ejemplo los cambios en la convección del manto, la configuración de las placas tectónicas, la variación de la órbita terrestre, etcétera. Todos estos mecanismos, los últimos y los inmediatos, son familiares a la experiencia humana, o a la historia reciente, y reciben por tanto el apoyo de los paleontólogos que se han molestado en dedicar alguna reflexión a las extinciones en masa. El paradigma uniformista dominaba. No fue pequeña, pues, la sorpresa que se produjo cuando, en 1979, un físico, un geólogo y dos químicos sugirieron que al menos una extinción en masa, la del Cretácico, fue resultado del choque de un asteroide o un cometa con la Tierra. La atmósfera se llenó de polvo y el planeta quedó sumido en una oscuridad que duró lo suficiente para acabar con la vida vegetal, de la que dependían las especies animales. No es de extrañar, como dijo Gould tiempo después, que la reacción de los paleontólogos «estuviera al principio entre el escepticismo y la burla».[37]

La anécdota se ha contado cientos de veces, así que seré breve y destacaré los puntos sociológicos y científicos que interesan.

A fines de los años setenta un equipo de científicos de la Universidad de California-Berkeley, dirigido por el físico Luis Álvarez, empleaba métodos químicos para medir el ritmo de depósito de varias formaciones sedimentarias. Ante su sorpresa, mientras trabajaban en los Apeninos de la región italiana de Umbría y en Dinamarca, encontraron niveles insólitamente elevados de un metal pesado y no reactivo, el iridio, en una delgada capa de arcilla que señalaba la extinción en masa del fin del Cretácico, hace sesenta y cinco millones de años. A causa de su peso, el iridio se hundió en el interior de la Tierra durante los primeros capítulos de su historia, cuando buena parte del material rocoso estaba fundido; es, por tanto, un metal raro en la corteza terrestre y en la roca continental. No obstante, tiene una presencia significativa entre los minerales de los meteoritos. Álvarez y sus colegas

sumaron dos y dos y dejaron boquiabierta a la comunidad paleontológica: el acontecimiento del Cretácico lo causó el choque de un asteroide contra la Tierra.

Midiendo el iridio encontrado, el equipo de Berkeley calculó que el asteroide tenía unos diez kilómetros de diámetro. La energía resultante del choque había tenido que ser tremenda, unos mil millones de veces la de la bomba atómica de Hiroshima. El impacto, al parecer, abrió un cráter de ciento cincuenta kilómetros de diámetro e introdujo en la atmósfera escombros suficientes para ocultar el sol y crear una noche continua. Al principio, Álvarez y sus colegas estimaron que la oscuridad había durado varios años, pero luego restringieron este periodo a varios meses. Un acontecimiento así habría sido suficiente para destruir la vida vegetal terrestre y marina; dado que la vida animal depende en última instancia de la vegetación, habría sucumbido inmediatamente después.

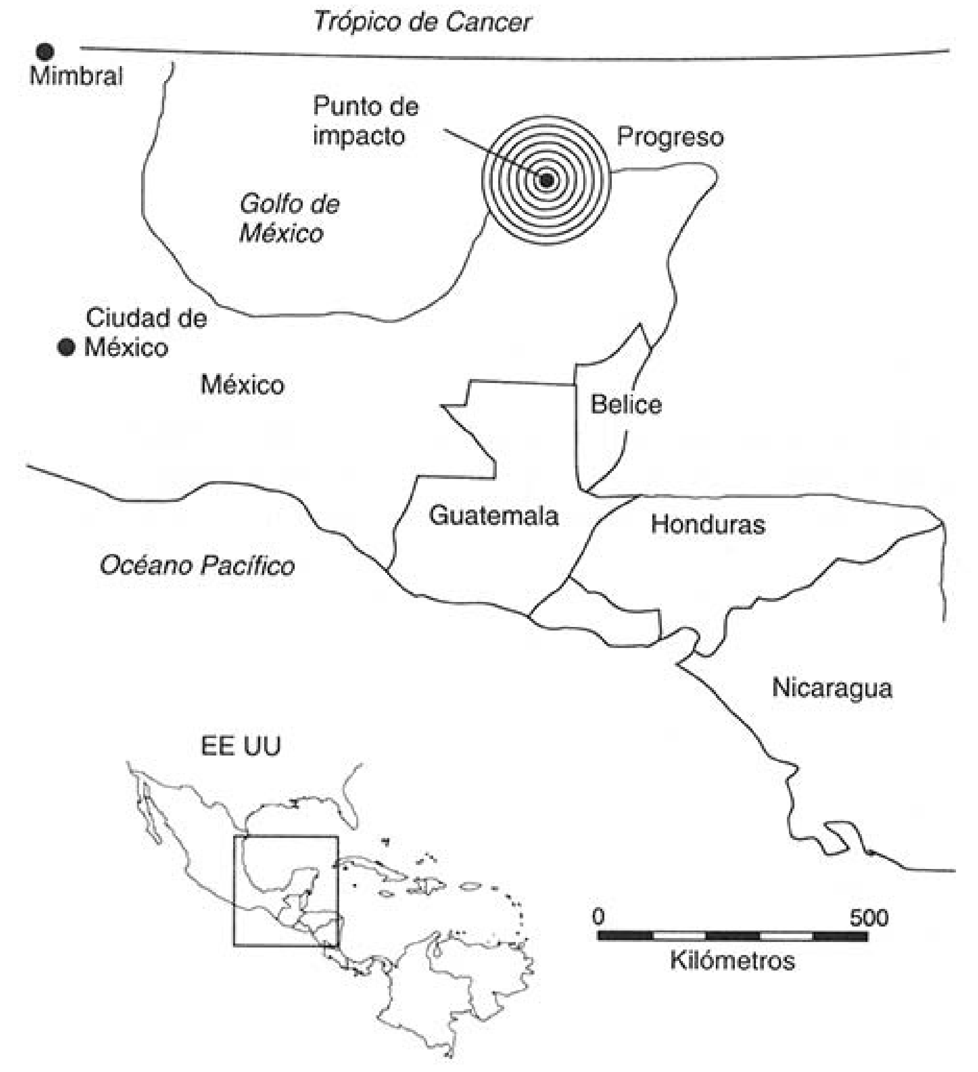
El descubrimiento de Álvarez, publicado en *Science* en junio de 1980, desató un alud de conferencias y artículos científicos sobre el impacto del asteroide. La tónica del discurso no siempre fue tranquila, por la más que buena razón de que «un pedrusco cayendo de los cielos es tabú para los geólogos de a pie», según David Raup, que desempeñó un importante papel en el desarrollo y difusión del asunto. A estos geólogos, dijo, «se les ha enseñado a evitar las soluciones de tipo *deus ex machina* a la hora de explicar los fenómenos naturales, ya que constituye un regreso al misticismo de los días tempranos de la ciencia».[38]

Basta con enfocar la Luna con unos prismáticos para ver que en el sistema solar hay impactos de asteroides. La superficie lunar está acribillada de palpables testimonios. Si la Luna fue bombardeada, lo mismo tuvo que pasarle a la Tierra. Las huellas de los impactos terrestres son, sin embargo, menos evidentes, entre otras cosas porque dos terceras partes de la superficie del planeta están bajo el agua y costaría localizar los cráteres formados; y como el fondo del mar se dilata, los cráteres desaparecen al final en las entrañas de la Tierra. Por otro lado, los cráteres terrestres sufren muy pronto el efecto de la erosión y su perfil, inicialmente agreste, acaba por alisarse. Pese a todo, hay una docena de grandes cráteres procedentes de impactos, como el cráter Manicougan del Quebec (ciento veinte kilómetros de diámetro), el cráter Siljan de Suecia (sesenta kilómetros de diámetro) y el Popigai de la antigua URSS, No puede negarse, pues, la realidad de los impactos.

Sin embargo, había que acumular más indicios para que incluso los simpatizantes se tomaran totalmente en serio la idea de que los impactos pueden causar extinciones en masa. Primero tenían que encontrarse elevados niveles de iridio donde hubiera sedimentos de finales del Cretácico. Se encontraron y en la actualidad se han detectado más de cien lugares con estas características. En segundo lugar había que encontrar otros indicios de los impactos. Se hallaron también diminutas esferas cuasicristalinas que forman los minerales rocosos cuando la temperatura y la presión

son enormes. Se han detectado en setenta y un puntos del planeta. Otro indicio del impacto es el llamado cuarzo fracturado, cristales en que se ven las líneas de las fracturas violentas que se producen cuando hay una presión repentina. Hasta la fecha se ha detectado cuarzo fracturado en unos treinta puntos del mundo.

El mejor indicio de que hubo un impacto en el límite entre el Cretácico y el Terciario sería, desde luego, la prueba misma del delito. Ya señalé que es muy alta la probabilidad de que el impacto de fines del Cretácico se produjera en el océano, lo que limita nuestras posibilidades de encontrar rastros. Un candidato terrestre es la estructura Manson de Iowa. Tiene la antigüedad justa, pero es quizá algo pequeño, ya que mide sólo treinta y dos kilómetros de diámetro. Los paleontólogos y geólogos han identificado varios cráteres discretamente grandes que tienen la antigüedad justa, unos en América del Norte, otros en Asia. De pronto, en junio de 1990, diez años después de la proclama de Alvarez, se difundió entre la comunidad geológica la noticia de que se había descubierto un cráter muy grande debajo mismo del extremo noroccidental de la península mexicana del Yucatán. Denominado cráter Chicxúlub, su estructura fue datada dos años más tarde por un equipo de geocronólogos de Berkeley, dirigido por Garniss Curtis, el mismo que, en colaboración con mi padre, Louis Leakey, desbrozó el camino, allá a comienzos de los años sesenta, de la datación técnica de los fósiles humanos más antiguos. Se calculó que el cráter Chicxúlub se formó hace sesenta y cinco millones de años, precisamente el momento de la extinción del Cretácico. Todo ello, más otros cráteres menores de antigüedad parecida, sugiere que la Tierra pudo ser bombardeada al mismo tiempo por una lluvia de asteroides, o de fragmentos de asteroide.

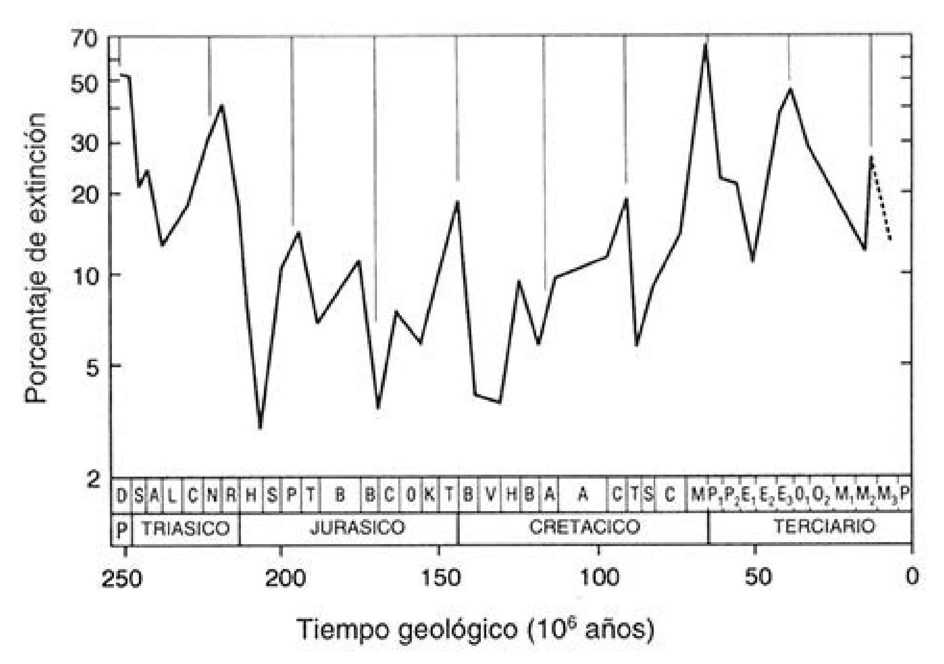


El vasto cráter de la península del Yucatán, formado hace unos 65 millones de años, es la prueba del delito de la extinción del Cretácico: el impacto de un asteroide.

El informe de la datación del cráter Chicxúlub, publicado en *Science*, ganó para su causa incluso a algunos de los que no creían en la teoría del impacto. Por ejemplo, William Clemens, también de Berkeley, dijo en un comentario que apareció con el artículo: «Es evidente que hemos subestimado el ritmo de formación de cráteres… Los impactos forman parte del entorno de los (últimos seiscientos millones de años)».[39] Sin embargo, aunque Clemens aceptó que se había producido un impacto a fines del Cretácico, al igual que otros antiguos escépticos no transigió con la idea de que fuera la única causa de la extinción. En su comentario, Clemens citaba las siguientes palabras de Anthony Hallam, paleontólogo de la Universidad de Birmingham: «Puedo aceptar lo del impacto, pero creo que a lo sumo fue el tiro de gracia. Creo que en el reino marino se habría producido una extinción en masa incluso sin el impacto».[40]

Que los que anteriormente habían negado el gran impacto acabaran admitiéndolo fue una especie de progreso, porque minó el riguroso uniformismo lyelliano. Aceptar las catástrofes como parte normal de la historia de la Tierra supuso para los geólogos

una gran ruptura filosófica. Desde el comienzo mismo de la polémica, sin embargo, un insistente grupo de paleontólogos y geólogos argumentaba que los presuntos indicios del impacto (altos niveles de iridio, esferas diminutas, cuarzo fracturado) podían deberse a una masiva actividad volcánica. A veces se encuentra ceniza volcánica en la frontera inferior del Cretácico. Y se conocen casos de emisiones gigantescas de lava basáltica de las profundidades de la Tierra hace sesenta y cinco millones de años, como las Trampas del Decán, en la India, que son una serie de mesetas escalonadas. También se ha sugerido hace poco que el impacto y la actividad volcánica pudieron estar relacionados; la energía generada por el impacto habría podido transmitirse por el fundido interior de la Tierra y producir vulcanismo en la cara opuesta del globo. Un vínculo causal así explicaría el impacto del Chicxúlub y el vulcanismo de las Trampas del Decán.



Según ciertas opiniones, las grandes extinciones se producen cada 26 millones de años, de manera periódica, las Cinco Grandes también. Se ha sugerido como causa el bombardeo periódico de asteroides que sufre la Tierra. (Reproducido por gentileza de David Raup y Jack Sepkoski.)

Aunque la polémica continúa, es más que probable que el impacto de un asteroide o un cometa ocasionara, o contribuyera a, las mortandades de fines del periodo cretácico. La suposición de que el impacto pudo ser sólo el tiro de gracia se basa en la hipótesis de que la vida ya estaba en dificultades cuando se produjo el choque. El argumento inicial de Alvarez y sus colegas se replicó con el contraargumento de que los dinosaurios y los amonites, héroes de la tragedia terrestre y marina, respectivamente, ya estaban en seria decadencia. Hace poco se puso de manifiesto que era un artefacto del registro fósil. Los dinosaurios y los amonites gozaban de buena salud en la época del impacto. No obstante, hay indicios de decadencia entre algunos grupos de organismos, sobre todo marinos. Y como por entonces estaba en

curso una regresión marina, no debería sorprendernos. El argumento de que las grandes crisis bióticas son resultado de una confluencia de efectos perjudiciales, entre ellos tal vez los impactos de asteroides o cometas, parece muy sensato. La extinción en masa es sin duda un proceso complejo.

Pese a la reticencia de geólogos y paleontólogos a aceptar que el impacto de un asteroide o cometa pudo producir la extinción del Cretácico, se les presentó una píldora más difícil de tragar aún. Basando sus cálculos en una recién creada base de datos de especies fósiles marinas, David Raup y Jack Sepkoski, geólogos de la Universidad de Chicago, señalaron en 1984 que las veintitantas extinciones del Fanerozoico, entre ellas las Cinco Grandes, se habían producido a intervalos regulares de unos veintiséis millones de años. El único agente capaz de generar tal regularidad, adujeron, tenía que ser extraterrestre, a saber, el bombardeo periódico de asteroides o cometas. Los cometas son mejores candidatos, y por varios motivos. Si la teoría de Álvarez fue recibida con escepticismo y burla, cabe imaginar la acogida de los bombardeos periódicos: incredulidad total. Aquello era ya catastrofismo a gran escala.

El punto polémico de Raup y Sepkoski es un análisis estadístico de las extinciones en el tiempo, que revela que se concentran cada veintiséis millones de años, a veces de forma masiva. {Según este cálculo, la siguiente gran extinción ocurrirá dentro de trece millones de años, así que podemos respirar tranquilos por ahora.) Sus detractores, en concreto el paleontólogo polaco Antoni Hallam, replican que la pauta encontrada es un artefacto de la construcción de la escala del tiempo geológico. La polémica ha continuado como si fuera un partido de tenis de mesa y aún no se ha llegado a ningún acuerdo. Si Raup y Sepkoski están en lo cierto, tendría que haber indicios de impacto en todas las grandes extinciones. Hasta el presente se han encontrado rastros de iridio en siete de los veinte acontecimientos, entre ellos el del final del Cretácico. Pero no en el de fines del Pérmico, el mayor de todos. Y cráteres con la misma antigüedad que las grandes extinciones hay media docena.

Raup y Sepkoski siguen convencidos de la fuerza de su análisis estadístico. Si tienen razón, la causa del sesenta por ciento de todas las extinciones del Fanerozoico fue el impacto de un asteroide o cometa (el cinco por ciento en las Cinco Grandes, el resto en los episodios menores, más numerosos). Raup no aduce que el impacto sea la única causa de la extinción; dice que es el «primer golpe» que debilita la biota, volviéndola vulnerable a otros procesos ambientales hostiles que podrían estar madurando. La idea de que la biosfera terrestre sufre periódicamente impactos de asteroides o cometas parece cosa de ciencia ficción. Sin embargo, la NASA estadounidense no quiere correr riesgos y promueve la fundación de un servicio de vigilancia espacial consistente en un sistema de telescopios para detectar la llegada de

cuerpos celestes, respaldado por misiles de cabeza nuclear para desviar lo que vengan directamente hacia nosotros.

Dos asteroides recientes, uno en marzo de 1989, el otro en enero d 1991, que fallaron por poco nos recuerdan que la Más Grande es posible. Los dos eran pequeños, no medían más de trescientos metros d diámetro, pero pasaron tan cerca de nosotros como la Luna. Y en julio de 1994 los astrónomos observaron una lluvia de veintitantos fragmentos cometarios cayendo en la superficie de Júpiter y abriendo grande heridas en la densa atmósfera del planeta; uno de los fragmentos teñí; el tamaño de la Tierra. Fue una demostración muy oportuna de que lo impactos masivos pueden suceder y de hecho suceden en el sistema solar. En este caso, el presente bien puede ser la clave del pasado, aunque dicho presente se vea en otro planeta.

Geólogos y paleontólogos seguirán discutiendo la viabilidad de lo impactos frente a los volcanes como agentes de las extinciones en masa; y la NASA continuará fomentando el montaje de sistemas aparatosos y seguramente inútiles. A fin de cuentas, los efectos del anunció que hizo Alvarez hace década y media han desembocado en un catastrofismo de nuevo cuño que tiene en cuenta fuerzas ajenas a la experiencia humana normal: los ocasionales y devastadores impactos de espacio exterior. Este hecho representa la segunda gran revolución en las ciencias geológicas de este siglo. La primera fue el hallazgo de que la corteza terrestre está fragmentada en una serie de placas cuyo movimiento gradual durante el discurrir de los eones desplaza los continentes por todo el planeta.

5
Extinción: ¿malos genes o mala suerte?

La historia de la vida en la Tierra está jalonada por ataques ocasionales de extinción, unos moderados, otros catastróficos; de esto ya no cabe ninguna duda. Fuera cual fuese la causa de tales acontecimientos, la siguiente pregunta crucial que afrontamos es la siguiente: ¿cómo responde la biota de la Tierra? Hemos visto que las grandes extinciones dejan en el escenario de la vida un reparto de actores distinto, modificando el curso de la evolución, a veces de manera espectacular. ¿Qué favoreció a los supervivientes a costa de los perdedores? Por decirlo con la sucinta pregunta de David Raup: ¿fueron los malos genes o la mala suerte lo que condenó a los perdedores al olvido evolutivo?

La pregunta no necesitó formularse durante mucho tiempo porque la respuesta consistía en presuponer tácitamente la teoría evolucionista dominante. Darwin había dicho con claridad en *El origen de las especies* por qué las especies se extinguían: porque eran inferiores a sus competidoras. «Los habitantes de cada periodo de la historia del mundo han derrotado a sus predecesores en la carrera por la vida y, por tanto, son superiores en la escala de la naturaleza», dijo en el capítulo en que habló «de la sucesión geológica de los seres orgánicos».[41] El meollo de la selección natural es la adaptación uniforme y continua de las especies a su entorno, un importante ingrediente del cual son otras especies, sus competidoras. La vida es una continua «lucha por la existencia».

En otra sección de *El origen*, Darwin empleó la célebre metáfora de las cuñas para describir esta lucha: «La cara de la naturaleza puede compararse a una superficie blanda, con diez mil prietas cuñas afiladas a las que se dan golpes repetidos para que se hundan, y unas veces se da un golpe a la de aquí y otras a la de allá con más fuerza».[42] Cuando una cuña se hunde más profundamente, otra u otras podrían verse obligadas a salir. La naturaleza está llena de especies, todas conectadas entre sí, en última instancia, por el empuje de la competencia, todas luchando por sobrevivir. «La metáfora de la cuña cimenta y sostiene nuestra concepción convencional del orden de la vida», observa Stephen Jay Gould, que ha escrito mucho sobre este tema en los últimos años. «Las criaturas luchan por mejorar; la vida se mueve uniformemente hacia arriba, aunque ninguna está continuamente en cabeza; el orden reina mientras la previsible lucha de los individuos se traduce en pautas de complejidad y diversidad crecientes».[43] Los ganadores prosperan y los perdedores se extinguen en el avance inexorable hacia el mejoramiento biológico.

La idea de que la extinción se deriva del fracaso de una especie parecía tan

evidente que pocos pensaron que valiese la pena comprobarla. No se comprobó durante mucho tiempo, pues acabó aceptándose que la competencia era la fuerza motriz de la evolución y el elemento diferenciador entre ganadores y perdedores. Cada jugador se esfuerza por sobrepasar a sus competidores desarrollando una conducta o una anatomía reforzada; sus competidores responden desarrollando contramedidas. El resultado es que las especies cambian con el tiempo, mejorando en algún sentido, pero muy pocas veces adelantando a sus competidores hasta el punto de aplastarlos. El paleontólogo Leigh Van Valen, de la Universidad de Chicago, ha llamado a este efecto «hipótesis de la Reina Roja», por aquel personaje de *A través del espejo* que tenía que correr siempre para estar en el mismo sitio. Quien deja de correr se queda atrás y, en el terreno de la naturaleza, se extingue. Un destino así entraría en la categoría de los malos genes.

En los últimos años los biólogos han comenzado a cuestionar la suposición de la primacía de la competencia en las interacciones poblacionales locales y en el nivel de la evolución. A raíz de esto, la competencia ya no se ve como la fuerza poderosa de otros tiempos. Un ejemplo del resquebrajamiento de la hegemonía de la competencia es el trabajo que han llevado a cabo Gould y su colega C. Brad Galloway. Estudiaron la relación entre los braquiópodos y los moluscos bivalvos como las almejas, cuyas raíces evolutivas se pierden en la historia de la vida. Los bivalvos dominan los mares de hoy, mientras que los braquiópodos desempeñan un papel menor; hace millones de años era al revés. Este cambio de papeles, explica Gould, se ha citado a menudo como ejemplo clásico del martilleo de las cuñas, donde los bivalvos mejoran paulatinamente su posición con el paso del tiempo y al final acaban dominando.

El detallado análisis que hicieron Gould y Galloway del registro fósil puso de manifiesto una historia diferente. En ocasiones, cuando medraban los bivalvos, a los braquiópodos les ocurría lo mismo; además, pasaron malas temporadas al mismo tiempo. La presunta sustitución gradual en virtud de las cuñas de la competencia no tuvo lugar; el relevo en la hegemonía fue «sencillamente resultado de diversas reacciones a la mayor de todas las mortandades, la extinción pérmica». Mientras que a los bivalvos apenas les afectó la crisis, los braquiópodos encajaron un duro golpe. «Así pues, los bivalvos "adelantaron" a los braquiópodos en este momento geológico y ya no cedieron el puesto».[44] Si fueron los genes o fue la suerte lo que ayudó a los bivalvos en su imperturbable avance por entre las ruinas pérmicas es algo que, sin embargo, no se ve a simple vista en esta afirmación.

Un ejemplo claro de mala suerte es el gallo de las praderas, presa predilecta de los cazadores durante la época colonial. Al principio vivía entre Maine y Virginia, pero en 1908, por la caza intensiva y la pérdida de hábitat a causa del crecimiento demográfico humano, ya no quedaban más que cincuenta individuos confinados en la isla de Martha's Vineyard, ante las costas de Massachusetts. A decir verdad, el ave

tuvo la mala suerte de resultar grata a los paladares coloniales, pero no es esto lo que importa aquí. Para proteger estos ejemplares y fomentar su multiplicación se estableció una reserva de unas ochocientas hectáreas. El proyecto ya había ido tomando cuerpo hacia 1915, cuando la reserva contaba con dos mil aves.

Y de pronto llegó el desastre o, mejor dicho, una serie de desastres. Un incendio, un invierno crudo, los efectos perjudiciales de la endogamia y una enfermedad avícola redujeron la población en 1927 a once machos y dos hembras. La última ave se vio el 11 de marzo de 1932. La población sucumbió, no por malos genes, sino por mala suerte. En su territorio inicial, de muchos miles de kilómetros cuadrados, la especie era prácticamente inmune a la extinción; reducida a una población ínfima, se volvió sensible a las veleidades del entorno.

Estos y otros ejemplos parecidos no condenaron la competencia al ostracismo en el ámbito de la biología evolucionista, pero hicieron que los biólogos tomaran conciencia de otros factores en la historia de la vida. La competencia es importante en evolución, es un componente de la selección natural, de eso no hay duda. Pueden estudiarse los mejores casos en las interacciones entre depredador y presa, por ejemplo en el aumento de la fuerza de las tenazas del cangrejo, compensado etapa por etapa por el engrosamiento de la concha de sus presas; en la guerra química entre los insectos y las hojas que comen; y en la optimización trituradora de la dentadura de los herbívoros y las defensas desarrolladas por las hierbas, entre las que se cuentan cristales de sílice (fitolitos). Hay una lucha por la existencia en la que las especies pueden entablar batalla, tal como acabo de decir, o competir con una especie parecida por los mismos recursos, sean nutrientes del suelo o carne viva. Pero la metáfora de la cuña exagera seguramente el grado de ocupación de los nichos potenciales.

Lo que nos preguntamos es cómo encaja todo esto en la pauta conocida de las extinciones. La pauta comprende dos fases, los intervalos de extinción de fondo, en que las especies desaparecen con lentitud, y episodios de extinción acelerada, que abarcan grandes crisis bióticas. Casi todos los biólogos admiten que la fuerza dominante en los periodos de extinción de fondo es la selección natural, en la que la competencia desempeña un papel importante. ¿Y en los brotes de extinción a mayor velocidad? ¿Es sólo cuantitativa la diferencia respecto a los periodos de extinción de fondo? Las regresiones marinas, el enfriamiento climático y los efectos de los impactos de asteroides o cometas ¿aprietan las clavijas de la competencia en tiempos difíciles? En otras palabras: ¿es la extinción en masa extinción de fondo a lo grande? ¿Son casi todas las extinciones, incluidas las masivas, el resultado, a grandes rasgos, de tener malos genes? Hasta hace poco, la respuesta a estas preguntas habría sido un sí inequívoco.

Hace veinte años, durante un fin de semana de invierno, en la estación marina de

Woods Hole, Massachusetts, David Raup, Stephen Jay Gould y otros colegas estuvieron dándole vueltas al tema de la extinción. Raup, un geólogo que prefiere hacer el trabajo de campo delante de la pantalla de un ordenador, propuso un experimento estadístico Para saber si las pautas de las extinciones eran sólo resultado de procesos estocásticos, es decir, casuales. El ojo humano es más bien incapaz de detectar el efecto del azar y prefiere buscar pautas aunque éstas no existan. En una docena de artículos científicos, Raup y Gould, junto con, ocasionalmente, Jack Sepkoski, Thomas J. Schopf y Daniel Simberloff, estudiaron si un mundo artificial de comunidades ecológicas (en realidad un programa de simulación por ordenador) pondría de manifiesto pautas de extinción de fondo y masiva si la supervivencia de las especies individuales estuviera gobernada sólo por posibilidades aleatorias.

Aunque llegaron a la conclusión de que el azar solo no bastaba para dar cuenta de la forma de la historia de la vida en el Fanerozoico y de que parecían intervenir fuerzas selectivas, vieron ciertamente pautas parecidas, si no en magnitud sí en forma, a las que se encuentran en el registro fósil. Se producían episodios de extinción moderada, por obra de la casualidad, extinciones simultáneas de muchas especies. Pero para que se produjeran por casualidad extinciones de la magnitud de las del Cretácico y el Pérmico hacían falta escalas temporales muy grandes. La mala suerte, en el sentido de no acertar al escoger cara o cruz, no puede ser por tanto la única causa de la desaparición de una especie en el caso de una extinción en masa. Pero el ejercicio de Raup y sus colegas contribuyó a la constatación de que los «malos genes» no son la única explicación de la pauta de la vida. Hubo cierta combinación de selección y mala suerte.

Dentro del trabajo de investigación inspirado por la sugerencia que hizo Alvarez en 1979, de que las extinciones en masa y los impactos de asteroides estaban vinculados, el paleontólogo David Jablonski, de la Universidad de Chicago, se propuso desnudar la naturaleza de la mencionada selección. En concreto, comparó las pautas de los periodos de extinción de fondo y extinción masiva. Durante la extinción de fondo, diversos factores se confabulaban para proteger a una especie de la extinción. Tal como había hecho en muchas otras ocasiones, Jablonski trabajó con especies marinas fósiles, pero los principios son igualmente aplicables a las especies terrestres.

Las especies extendidas geográficamente resisten la extinción en momentos en que no hay crisis. Ya vimos que la población pequeña y aislada de urogallos norteamericanos quedó expuesta a la casualidad cuando la diezmaron los cazadores humanos. Si las aves hubieran conservado su vasto territorio inicial, los incendios, los inviernos crudos y los brotes epidémicos habrían acabado con poblaciones locales, pero no con la especie. Es algo lógico. En segundo lugar, las especies marinas que reparten sus larvas por todos los rincones (dejándolas a merced de las corrientes)

también resisten la extinción por motivos parecidos. Un grupo de especies emparentadas, lo que los biólogos llaman ciado, resiste la extinción si contiene una cantidad de especies más bien elevada. La desaparición aleatoria de unas cuantas especies representa sin duda un peligro mayor para la supervivencia de un ciado de sólo tres especies que para la de otro que, por ejemplo, incluya veinte.

Cuando Jablonski analizó el destino que habían corrido las especies y los ciados de moluscos durante la extinción del Cretácico, vio una imagen muy distinta. No se cumplía ninguna de las leyes citadas. La única norma que pudo distinguir se refería a grupos de especies emparentadas, los clados. Una vez más, la distribución geográfica tenía algo que decir. Un grupo de especies que vivía en un territorio muy grande afrontaba mejor una crisis biótica que los grupos geográficamente restringidos, al margen de la cantidad de especies que hubiera en el clado. «Durante las extinciones masivas, la cualidad de adaptación o los valores de aptitud… son mucho menos importantes que el pertenecer a las comunidades, provincias o categorías distributivas concretas que sufren efectos mínimos durante los episodios de extinción en masa», afirmó Jablonski.[45] Esta conclusión fue un hito porque era la primera que señalaba con claridad que las reglas no eran las mismas en la extinción de fondo y en la extinción en masa. Las crisis bióticas no son sólo extinciones de fondo a lo grande.

También esto tiene lógica, pues en la historia de la vida ha habido muchas especies o grupos de probada eficacia que han tenido un brusco final durante las extinciones masivas. Los dinosaurios y los amonites habían dominado su respectivo dominio durante más de cien millones de años y se habían diversificado más que nunca cuando fueron barridos en la extinción del Cretácico. No hay indicios de que los mamíferos estuvieran, en ningún aspecto, mejor adaptados que los dinosaurios, a los que sustituyeron como principal grupo tetrápodo terrestre. Y en los océanos, las comunidades de arrecife han sufrido transformaciones periódicas mientras desaparecían organismos dominantes existentes entonces, coincidiendo en cuatro casos con las crisis principales. Después de cada esquilmación reaparecían los arrecifes, unas veces con algas calcáreas en el plano dominante, otras con briozoos, otras con moluscos y otras con corales. Los arrecifes de coral que conocemos no son más que inquilinos provisionales de esta zona adaptativa. Ninguno es superior a los demás, eso es evidente.

Tal como vimos en relación con la desaparición de grandes cantidades de tipos a raíz de la explosión cámbrica, no hay ejemplos de cambios importantes en la fauna durante las extinciones en los que se pueda decir que los vencedores han sido superiores en adaptación. Juzgamos a mucha distancia, desde luego, y es posible que la superioridad adaptativa fuera un factor importante, pero si fue así, los elementos son demasiado sutiles para percibirlos. No obstante, como señala Raup, «la triste realidad es que no hay ningún indicio consistente de la inferioridad de las víctimas,

aparte del hecho de haberse extinguido».[46] Además, hay razones convincentes para sugerir que la superioridad adaptativa, en el sentido darwiniano de la cotidianidad, no puede haber sido un factor en las crisis bióticas principales. La selección natural funciona con eficacia al nivel del individuo en relación con las condiciones locales, del choque de los competidores y las condiciones físicas dominantes. Es una reacción potente a la experiencia biológica inmediata. Pero no puede prever acontecimientos futuros. Y menos aún acontecimientos insólitos.

Si la longevidad media de una especie animal es de cuatro millones de años (lo cual es probablemente una exageración, ya que el cálculo se basa en las especies que han tenido la suerte de fosilizarse) y si los brotes de mortandad se producen por término medio sólo cada veintiséis millones de años, los brotes en cuestión los sufren muy pocas especies. Los episodios de extinción en masa, las Cinco Grandes, son más insólitos aún, por lo que son invisibles para la selección natural. Como dice Raup, «las causas probables de la extinción de especies bien establecidas hay que buscarlas entre fuerzas que no se perciben en escalas temporales lo bastante reducidas para que actúe la selección natural».[47]

Las consecuencias son importantes. Como ha afirmado Gould, «si las extinciones en masa (las causan agentes) que escapan totalmente a la capacidad de previsión de los organismos, la historia de la vida contiene una cantidad de casualidad inevitable o funciona mediante leyes de perturbación todavía desconocidas, no (como hemos creído siempre) mediante leyes que regulan la previsible competencia en tiempos normales».[48] Las consecuencias de la extinción en masa, por tanto, deben dar cabida al azar hasta cierto punto, en particular si la medida empleada es la cualidad de la adaptación.

Ya dije al principio de este capítulo que el efecto de la extinción masiva era reorganizar el reparto de personajes en el escenario de la vida y preguntaba si dicha reorganización estaba determinada por los malos genes o la mala suerte. Es ya evidente que los malos genes no son la respuesta. Fijémonos otra vez en la extinción del Cretácico. Puesto que la esquilmación se produjo en todos los reinos biológicos, me concentraré en los tetrápodos terrestres, ya que ilustran bien el punto hacia el que nos movemos. William Clemens, de Berkeley, ha redactado listas de aquellos animales y su destino. Había 177 géneros de mamíferos, anfibios, reptiles y peces, todos fósiles. Cincuenta géneros desaparecieron durante la crisis biótica y veintidós eran dinosaurios.

Para los dinosaurios significó el fin; de estos notables animales no quedó ni un solo género. Por el contrario, sólo desapareció un género de mamíferos placentarios, mientras que el género de los mamíferos marsupiales (a menudo considerados más primitivos) sufrió una pérdida de unas tres cuartas partes. En principio se diría que los mamíferos placentarios estaban haciendo algo acertado por aquellas fechas, mientras

que los dinosaurios y los mamíferos marsupiales estaban haciendo algo que no debían. La esfera terrestre, durante 140 millones de años, estuvo dominada por un tipo de vida dinosauria (siempre hubo en escena unos cincuenta géneros en actividad), uno de cuyos rasgos era poner huevos como medio de reproducción. Tras la extinción que marcó el final del Cretácico, los mamíferos placentarios pasaron al plano dominante. El medio de reproducción más normal en el reino tetrápodo era ahora el desarrollo interno de las crías. El método de los mamíferos marsupiales, un desarrollo interno breve seguido por otro semiinterno, en una bolsa, es inusual en términos cuantitativos.

Desde el paradigma darwiniano del mejoramiento progresivo la inferencia obvia es que la reproducción placentaria es superior al huevo amniota o a la bolsa marsupial. Pero si preguntamos por qué los mamíferos placentarios sobrevivieron a la extinción mientras que los dinosaurios no y los mamíferos marsupiales recibieron un duro golpe, aparece una respuesta distinta. Es improbable que los dinosaurios sucumbieran por razones de distribución geográfica restringida; estaban por todas partes. Pero casi todos eran criaturas muy grandes, y hay cierta correlación entre cuerpo grande y vulnerabilidad a la extinción. También hubo sin duda otros factores implicados, y es casi seguro que no tenían nada que ver con la adaptación de las especies por separado. ¿Y los mamíferos marsupiales? Según Clemens, su destino se resolvió por el aislamiento geográfico, en Australia y Sudamérica. La distribución geográfica, no la inferioridad adaptativa, fue lo decisivo.

Los mamíferos habían coexistido con los dinosaurios durante más de cien millones de años, principalmente como criaturas pequeñas, nocturnas y arborícolas. Su auge tras la extinción del Cretácico se debió sin duda tanto a la buena suerte como a los buenos genes, posiblemente en todos los aspectos. Este guión, interpretado por distintos grupos de organismos de todos los reinos biológicos y en muchos momentos de los últimos seiscientos millones de años de historia de la Tierra, da un enfoque completamente distinto a nuestra percepción del flujo de la vida. Las extinciones en masa se consideraban antaño simples interrupciones de dicho flujo. Sí, a menudo la naturaleza de la biota se modificaba a raíz de los acontecimientos, pero se pensaba que era resultado de apretar las clavijas de la competencia. Hoy entendemos que en estas épocas imperan leyes distintas que arrinconan temporalmente la competencia darwiniana y ponen en juego fuerzas para las que las especies no están preparadas ni, ciertamente, pueden estarlo. Las extinciones en masa no sólo vuelven a poner en hora el reloj de la evolución atrasándolo durante una temporada; cambian la esfera del reloj. Crean la pauta de vida.

En palabras de David Jablonski, «lo que da forma a las pautas evolutivas a gran escala de la historia de la vida es la alternancia de regímenes de fondo y de extinción».[49] En épocas de extinción de fondo opera la selección natural darwiniana,

creando novedades evolutivas, dando forma a la adaptación, creando el ajuste entre los organismos y el entorno. Tanto los genes como la suerte desempeñan un papel en este régimen y es posible que los malos genes tengan aquí más peso que la mala suerte cuando se trata de extinguirse. Durante las extinciones en masa, las leyes darwinianas quedan en suspenso y las especies sobreviven o sucumben por motivos ajenos a la adaptación. Lo decisivo entonces, a la hora de consignar especies al olvido evolutivo, es la mala suerte.

Así pues, las extinciones en masa reestructuran la biosfera y dejan con vida una imprevisible cantidad de supervivientes en un mundo de diversidad biológica muy diezmada. Con un mínimo del 15 por ciento y un máximo del 95 por ciento de especies extinguidas, los nichos ecológicos quedan abiertos o al menos mucho menos poblados que antes. Es un momento de oportunidades evolutivas para la minoría afortunada.

Más arriba describí la pauta de la diversidad en el Fanerozoico como una tendencia ascendente desde la explosión cámbrica hasta la actualidad, interrumpida por fuertes sacudidas. Como se verá, es en cierto modo una simplificación. También es relativamente novedoso, por lo menos en la literatura paleontológica. La pauta del Fanerozoico fue motivo de debate y ruidosos desacuerdos durante los años setenta. Por ejemplo, James Valentine, de Berkeley, defendía un aumento rápido y creciente de la diversidad de especies animales, basándose en su interpretación del registro fósil. David Raup, por el contrario, sugería que la pauta trazaba una línea ascendente hasta llegar a un máximo temprano y a continuación descendía. Basaba sus conclusiones en un análisis estadístico del registro. Richard Bambach, del Instituto Politécnico de Virginia, propuso una solución de compromiso basándose, una vez más, en una interpretación del registro fósil.

Puede resultar curioso que el mismo registro se pueda interpretar de maneras tan diferentes, pero, como no dejo de señalar, la imperfección del mismo imposibilita una lectura simple. Hay que hacer muchas suposiciones y concesiones respecto al deterioro del registro cuanto Tías lejos se mira. Las diferencias se zanjaron cuando los tres protagonistas, a los que se unió Jack Sepkoski, se juntaron para despejar los Problemas de sus diferentes enfoques. En octubre de 1981, los cuatro investigadores publicaron un escrito colectivo que en la profesión se conoce como «el artículo del beso y la componenda». En él atribuían al Fanerozoico una diversidad en aumento general, pero escalonado, algo parecido al término medio propuesto por Bambach. Como de costumbre, se basaba principalmente en el análisis del registro fósil marino, aunque se advierte algo parecido entre los vertebrados terrestres y las plantas, si no en la cronología, sí en la pauta.

Como sucede en el caso de las mismas extinciones en masa, la duración de la

reacción biótica tras los acontecimientos varía muchísimo, pues la que siguió al final del Cretácico duró unos miles de años, mientras que la posterior a la extinción pérmica duró muchos millones. Tiene que haber en juego muchos factores, y uno es la naturaleza de los animales que sobreviven a la crisis, aspecto que Sepkoski ha investigado detalladamente. Sepkoski ve tres fases de diversificación en el Fanerozoico. La primera es la cámbrico-vendiense, que comprende los episodios del Precámbrico final, la explosión cámbrica y la estabilización del Cámbrico tardío. La segunda es la paleozoica tardía; empieza con las expansiones ordovícicas, que generaron un enorme y rápido aumento de la diversidad, casi cuadruplicando la cantidad de géneros y familias animales del reino marino. A continuación hubo unos doscientos millones de años de equilibrio aparente, jalonado aquí y allá por hundimientos de la diversidad de varia magnitud. La última fase, la mesozoico-cenozoica, abarca la reacción producida tras la impresionante esquilmación de fines del Pérmico y la imparable expansión que dura hasta nuestros días.

Esta pauta escalonada no es resultado de una diversificación concertada, o estasis, en el seno de la comunidad entera de especies, sino más bien dentro de grupos concretos, o fauna evolutiva, como dice Sepkoski. La fase de diversificación cámbrico-vendiense la protagonizó la llamada fauna cámbrica, que comprende trilobites, moluscos y equinodermos. Estas especies se expandieron rápidamente, pero se estabilizaron cuando comenzó la siguiente fase, en la que desempeñaron ya un papel modesto. Los trilobites, por ejemplo, desaparecieron por completo durante la extinción del Pérmico. La fase del Paleozoico tardío la protagonizaron los braquiópodos, los corales, los briozoos y los cefalópodos, la fauna paleozoica. Aunque fueron responsables de que en esta fase la diversidad se disparase de un modo formidable, habían estado en escena desde mucho antes, ya que la mayoría había aparecido en el Cámbrico. Los episodios de extinción de fines del Cámbrico les dieron su oportunidad. La fase mesozoico-cenozoica fue fruto de lo que Sepkoski llama fauna moderna y comprendía moluscos bivalvos y gasterópodos, crustáceos, equinodermos y peces verdaderos. También aquí, muchos grupos evolucionaron en el Paleozoico temprano, donde desempeñaron un papel muy menor. Tras sobrevivir a la extinción de fines del Pérmico, su cantidad y diversidad explotaron y al final desembocaron en la vida que vemos en los mares actuales.

La dinámica del efecto rebote de la diversidad es compleja y podría suponer un aumento de la cantidad de especies dentro de comunidades ecológicas, el origen de más y diferentes clases de comunidades, y el desarrollo de comunidades especialistas, es decir, las que aparecen sólo en hábitats restringidos. Un elemento común en la primera fase de recuperación, sin embargo, es el freno al trastrueque de las especies: la longevidad de las especies es provisionalmente más corta de lo habitual. Esto supone alguna clase de inestabilidad evolutiva, quién sabe si resultado de una

experimentación evolutiva salvaje en un espacio ecológico relativamente abierto. Por otro lado, hay muchas más novedades evolutivas en la primera fase de la recuperación, sin duda por el mismo motivo. Como ya vimos, no ha habido producción de novedades que se pueda comparar con la notable explosión cámbrica.

No es ninguna sorpresa que haya reacciones evolutivas a modo de rebotes después de un hundimiento catastrófico de la diversidad; los ecosistemas, de súbito, quedan más abiertos e invitan a la invasión de nuevas especies. Pero la tendencia ascendente de la diversidad, sobre todo en la última fase, el Cenozoico, está aún sin explicar. La idea de Sepkoski es que deriva de la naturaleza de la fauna y de sus estrategias ecológicas básicas. Valentine tiene otra explicación, relacionada con la configuración de los continentes.

Las especies de la fauna cámbrica eran, en muchos aspectos, ecológicamente universalistas, lo cual es coherente con la escasa diversidad en esta fase. En comparación con los especialistas, que tienen exigencias ecológicas más estrictas, los universalistas toleran un abanico de entornos relativamente amplio. Los especialistas son por tanto abundantes, ya que cada especie ocupa un segmento pequeño del hábitat; las especies universalistas son mucho más escasas, porque pueden repartirse por un territorio mayor. El fomento de la diversidad en la segunda fase, el Paleozoico tardío, pudo ser resultado de la aparición de muchas más especies especialistas. El estancamiento de 200 millones de años de la diversidad podría suponer que el ecosistema global había alcanzado alguna clase de equilibrio, dice Sepkoski; en otras palabras, el ecoespacio estaba al completo. Con la fauna moderna, la predación pasó a ser un factor importante en la dinámica de la comunidad. Los expertos en ecología saben, por sus modelos matemáticos y algunas observaciones empíricas, que la predación puede fomentar la diversidad, a menudo porque los predadores impiden que una sola especie o grupo de especies llene el sistema. A escala global, tal pudo ser la base del gran auge de la diversidad del Cenozoico. «Así», dice Sepkoski, «los niveles de biodiversidad del reino marino serían más una función de la identidad de los actores que de la trama de la obra».[50]

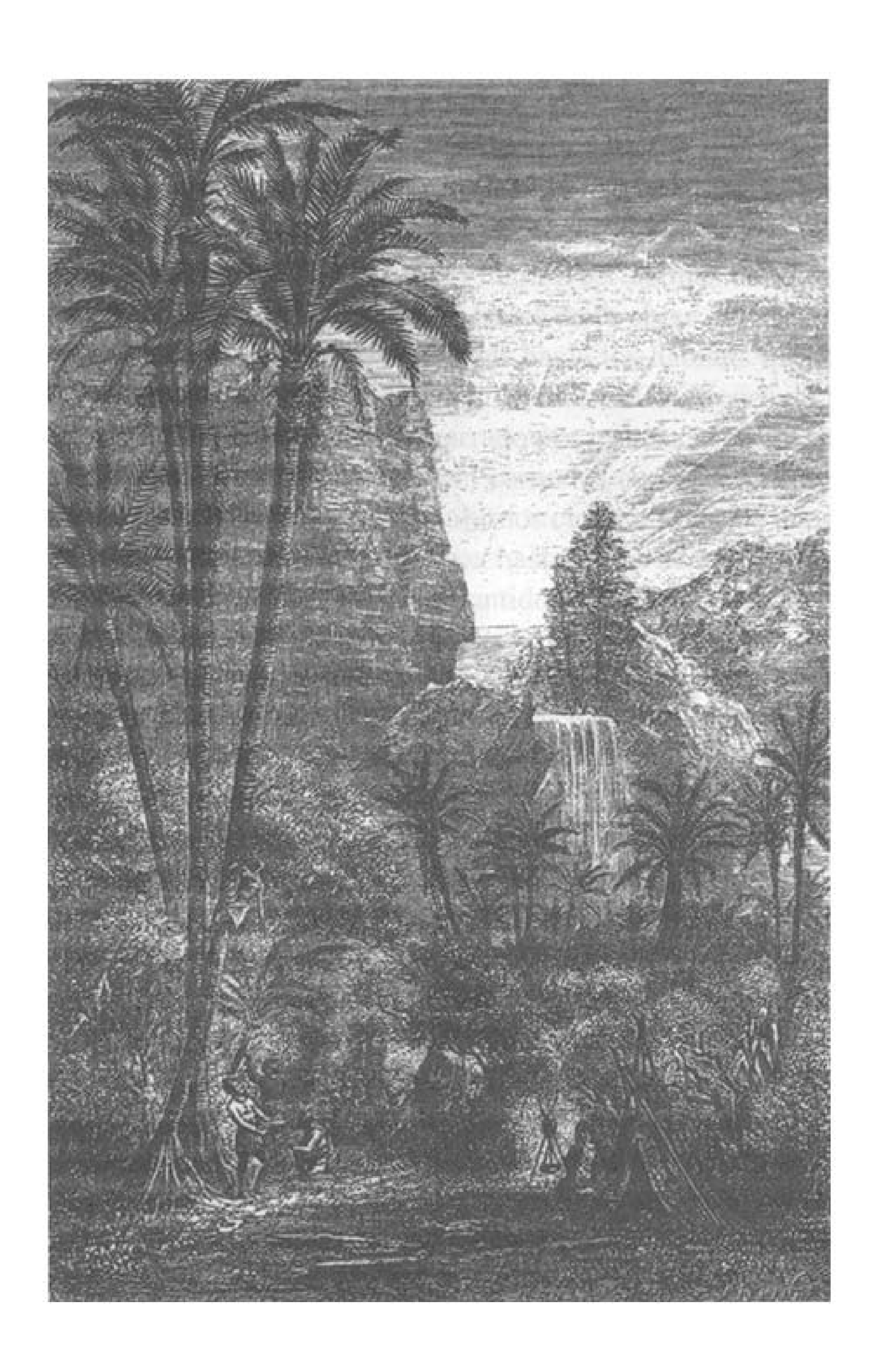
La explicación de Valentine mira más hacia los hábitats que hacia los hábitos de las especies. Durante los últimos 200 millones de años el supercontinente *Pangea* se ha desgarrado por influencia de los movimientos tectónicos. Los continentes, tal como los conocemos hoy, empezaron a adquirir forma durante los últimos cien millones de años; las masas de tierra individuales aumentaron hasta llegar de un polo a otro. Una configuración así maximiza la cantidad de hábitats disponibles tanto en el reino marino como en el terrestre.

Sea cual fuere el mecanismo que opera (tal vez operen los dos), el *Homo sapiens* evolucionó en un punto muy alto de la biodiversidad global. Las extinciones punteadas de grandes mamíferos terrestres durante los dos últimos millones de años

(quién sabe si producidas por los periodos de glaciación) han reducido la diversidad hasta cierto punto, pero no de un modo radical. No somos más que una especie entre los millones que pueblan la Tierra, resultado de quinientos millones de años de flujo vital, supervivientes afortunados de al menos veinte crisis bióticas, entre ellas las catastróficas Cinco Grandes.



El motor de la evolución



Durante más de quinientos millones de años los procesos evolutivos han generado sin parar variaciones sobre temas establecidos en la explosión cámbrica. Fue una época de innovación evolutiva sin igual.

El Homo sapiens *apareció en un momento de la historia de la Tierra que poseía la más abundante diversidad de formas de vida que ha existido. Puede que seamos la expresión suprema de la flecha vital de la evolución.*

Como somos una especie sensible, el Homo sapiens *es capaz de comprender la forma, alcance y valor de la biodiversidad planetaria. La verdad es que tenemos la obligación de valorarla y además nos interesa.*

6
El *Homo sapiens*, ¿culminación de la evolución?

La respuesta a esta pregunta parece desprenderse por sí sola. Sí, desde luego que lo somos.

En el penúltimo capítulo de *El origen de las especies* escribió Darwin: «Mientras la selección natural opere únicamente por y para el bien de cada ser, todas las facultades tenderán a progresar hacia la perfección».[51] El *Homo sapiens*, desde que apareció, hace unos 150.000 años, ha acabado por ocupar todos los continentes menos las llanuras inhóspitas de la Antártida, e incluso allí hemos puesto el pie. Esto, sin duda, da fe de nuestras facultades corpóreas, ya que nos hemos adaptado a todos estos ambientes. Y no puede ponerse en tela de juicio nuestras facultades mentales, que son únicas en la naturaleza. Somos seres intelectualmente analíticos, artísticamente creativos y hemos inventado normas éticas por las que se rige la sociedad. Nadie puede dudar de que nuestra especie ha avanzado, si no hacia la perfección, sí hasta un punto elevado, el más elevado, de la diversidad de la vida en la Tierra. Somos la culminación de la evolución. ¿O no?

Antropólogos y biólogos vienen bregando con el tema desde hace mucho y hasta ahora no ha habido soluciones sencillas.

En el mundo de la naturaleza nos sentimos únicos y en efecto lo somos: cada especie es única por definición, lo cual no sirve de gran cosa. En el mundo actual no somos más que una especie entre muchos millones. Sin embargo, nos sentimos especiales en medio de esta exuberante diversidad biológica porque tenemos una capacidad inigualada para el lenguaje hablado y la conciencia introspectiva, y podemos dar forma a nuestro mundo como ninguna otra especie. Creemos que esto nos sitúa en la cima del montón. Antes de que se demostrara la realidad de la evolución, empezando por Darwin, a mediados del siglo XIX, pensábamos que la Creación divina había puesto al *Homo sapiens* en lo más alto. En el mundo darwiniano se dijo de nuestra especie que había conseguido su primacía gracias a la selección natural de nuestras cualidades particulares. El contexto intelectual había cambiado, pero el resultado era el mismo. Nos considerábamos la cima del mundo natural.

Esta afirmación comporta dos suposiciones, una tácita, la otra manifiesta. La suposición tácita es que la evolución del *Homo sapiens* fue una consecuencia inevitable del flujo de la vida, del desarrollo de la evolución. La suposición manifiesta es que las cualidades que valoramos en nosotros como especie son en

cierto modo superiores a las del resto del mundo natural. En el tiempo evolutivo, la vida adquirió complejidad creciente, generando un progreso rectilíneo. Como dijo Darwin en el pasaje citado más arriba, la vida, gracias a la selección natural, «tenderá a progresar hacia la perfección». Somos la punta de la flecha del progreso, la expresión de la perfección.

Aquí analizaré tres aspectos de este tema. Primero veremos los esfuerzos de los estudiosos durante milenios, desde Aristóteles hasta los antropólogos actuales, por situar como es debido al *Homo sapiens* en el mundo de la naturaleza. Luego abordaremos la cuestión de la inevitabilidad de nuestra especie en el flujo de la vida. Si la historia de la vida volviera sobre sus pasos hasta los orígenes y pudiera recomenzar, ¿aparecería otra vez el *Homo sapiens* en medio de la grandiosa diversidad de la vida? Por último preguntaré si el mundo de la naturaleza se ha vuelto de verdad más complejo en el tiempo evolutivo. ¿Hay una flecha del progreso en las operaciones de la selección natural?

La concepción humana del Hombre en el seno de la naturaleza ha variado con el paso de los siglos, reflejando así la mudanza incesante del contexto intelectual. Es relativamente reciente la fecha en que los antropólogos empezaron a analizar los orígenes humanos tal como analizaban el origen de las ostras, los gatos y los monos. Sin embargo, el deseo de mantener una frontera entre nosotros y nuestros parientes biológicos puede detectarse, incluso en la actualidad, en las teorías de ciertos estudiosos sobre la prehistoria humana, en particular en lo que afecta al origen de los humanos modernos, las personas como los autores de este libro y sus lectores.

En el siglo XVIII y principios del XIX, los estudiosos veían un orden en la naturaleza en forma de Gran Cadena del Ser, cuyas raíces se hundían en la concepción aristotélica del mundo. Era una «expresión sagrada», como señaló Arthur Lovejoy, historiador de la ciencia de Harvard que en 1936 publicó el trabajo clásico sobre el concepto. Tuvo una función «en cierto modo semejante a la de la dichosa palabra “evolución” a fines del siglo XIX». Desde las formas de vida más sencillas, las bacterias, hasta la más compleja, el *Homo sapiens*, la naturaleza se organizó en tramos graduados con regularidad que reflejaban el orden de la creación. La cadena quería ser una descripción del mundo natural tal como había sido desde la creación y como sería siempre.

Si reflejaba la perfección aristotélica y las expectativas de estudiosos posteriores acerca de un orden natural, la cadena de los seres tenía que estar intacta; no habría huecos en la gradación del mundo natural. Sin embargo, había grandes huecos a la vista; a saber, entre los minerales y las plantas, entre las plantas y los animales, y, para empeorar las cosas, entre los simios y los humanos. Tan influyente fue la teoría

que cuando Linneo, entre 1736 y 1758, sentó las bases de la clasificación zoológica (su *Systema naturae*), postuló la existencia de una forma primitiva de humanos, el *Homo troglodytes*, que llenaba el hueco abierto entre los humanos y los monos. Del *Homo troglodytes* se dijo que vivía en los bosques, que sólo estaba activo de noche y que se comunicaba sólo con silbidos. Los exploradores de la época volvían a menudo de África con anécdotas fantásticas sobre criaturas semihumanas y semisimiescas que se comportaban así; habían «visto» lo que esperaban ver, de acuerdo con la teoría dominante.

Con la aparición de la teoría de Darwin, la fuente del orden del mundo se enfocó de manera distinta. Más que fruto de la creación, era resultado de la historia o, en palabras de Darwin, de la «descendencia con modificación». Todos los organismos tenían raíces comunes, conectadas de diversa manera en el desarrollo de la evolución. Y aquí, evidentemente, se incluía a los humanos. No obstante, la concepción del mundo de los estudiosos siguió siendo notablemente parecida a la posición preevolucionista. Es decir, se suponía que el *Homo sapiens* representaba el producto definitivo de la evolución y que estaba separado del resto de la naturaleza en muchos sentidos, con un aumento gradual de su superioridad a través de las razas geográficas, desde la australiana hasta la europea.

Por ejemplo, Alfred Russell Wallace, el otro creador de la teoría de la selección natural, creía que la evolución había estado operando «durante incontables millones de años… desarrollando lentamente formas de vida y belleza que culminan con el hombre».[52] El paleontólogo escocés Robert Broom, que durante los años cuarenta y cincuenta estuvo entre los que inauguraron la búsqueda de los primeros fósiles humanos en África del sur, estaba básicamente de acuerdo con Wallace cuando dijo en 1933: «Parece como si buena parte de la evolución se hubiera planeado para que produjera al hombre, y otros animales y plantas para que el mundo le resultase una morada acogedora».[53] Broom, evidentemente, consideraba a los humanos como seres especiales y a parte, y al resto del mundo como una propiedad a la que explotar a nuestro antojo. La opinión de Broom no estaba aislada; reflejaba con exactitud el pensamiento contemporáneo. Los antropólogos de la época se quedaban asombrados ante el tamaño y capacidad del cerebro humano y lo consideraban el atributo biológico que nos ponía en la cima del monte, amos de todo. El progreso humano en la prehistoria había sido, según el destacado antropólogo británico Sir Arthur Keith, «un éxodo glorioso hacia el dominio de la tierra, el mar y los cielos».[54]

La literatura académica de las primeras décadas del siglo, que situaba en un marco evolucionista lo que hasta entonces se había considerado fruto de la creación, estaba plagada de ejemplos de lo que, de acuerdo con nuestros esquemas actuales, llamaríamos racismo flagrante. Bastará una cita para ilustrarlo. En un escrito de 1923, de sus *Essays on the Evolution of Man*, el eminente anatomista británico Sir Grafton

Elliot Smith dijo lo siguiente: «La raza más primitiva que vive en la actualidad es sin lugar a dudas la australiana, que representa la supervivencia, con modificaciones relativamente ligeras, del que tal vez sea el tipo primitivo de la especie. La sigue en orden la raza negroide, que es mucho más tardía y en muchos aspectos está superiormente especializada, aunque comparte con aquélla la pigmentación negra de la piel, que es en realidad una característica temprana de la familia humana que el hombre primitivo comparte con el gorila y el chimpancé. Cuando el negro se separó del tronco principal de la familia, la cantidad de pigmentación sufrió una brusca y muy notable reducción; y el siguiente grupo que se separó y sufrió sus propias especializaciones distintivas fue la raza mongoloide. Con la separación de la raza mongoloide hubo aún otra reducción del pigmento de la piel; y de esta división blanca de la humanidad se separó primero del tronco principal la raza alpina, que en último término se dividió en las razas mediterránea y nórdica, en la última de las cuales la reducción del pigmento se llevó a una etapa más allá y produjo los más rubios de todos los seres humanos».[55]

Esta clase de racismo manifiesto desapareció de los manuales hacia mediados de siglo, con un efecto curioso. Consideradas más primitivas que los blancos caucásicos, las «razas inferiores» formaban una especie de puente entre la expresión definitiva del *Homo sapiens* y el resto del mundo animal. Cuando todas las razas se consideraron iguales, el puente desapareció y quedó un vacío que hizo que los humanos modernos pareciéramos más separados aún de la naturaleza. La literatura antropológica se centró en los rasgos que admirábamos (cerebro grande, lenguaje y tecnología) y se supuso que su evolución había formado parte de nuestra historia desde el origen mismo de la familia humana. Fuimos impulsados por la fuerza de la evolución, especiales desde el comienzo, hacia un lugar especial en el mundo.

Tan especial que Julian Huxley, nieto de Thomas Henry Huxley, sugirió que la clasificación de los humanos debería hacerse totalmente al margen del resto del mundo natural. «Desde un punto de vista verdaderamente evolucionista, los humanos constituyen un grupo dominante radicalmente nuevo y altamente eficaz que evoluciona por el novedoso método de la transmisión cultural», dijo en 1958. «El hombre… debería asignarse a un grado distinto que podría denominarse Psicozoo.»[56] Los animales no humanos, las plantas y todos los demás organismos se clasifican en reinos propios donde coexisten múltiples especies. En opinión de Huxley, los humanos deberían ser los únicos habitantes de su propio reino biológico.

No replicaré diciendo que el universo cultural que han creado los humanos no es especial en el mundo, pero desde la época en que Huxley formuló su sugerencia hemos venido valorando con mucho más conocimiento de causa las cualidades de otras criaturas, en particular de nuestros parientes más cercanos, los grandes monos. Se decía que nuestro lenguaje y capacidad cultural nos apartaban del mundo natural

en muchos aspectos. Sólo los humanos emplean herramientas, se decía; sólo los humanos tienen conciencia de sí; sólo los humanos pueden producir cultura; sólo los humanos tienen lenguaje simbólico. Naturalistas como Jane Goodall y Dian Fossey han difuminado la frontera humanoanimal que con tanto tesón habíamos trazado a partir de estos atributos supuestamente únicos. Los monos emplean herramientas; tienen una especie de cultura; tienen conciencia de sí; y, aunque las investigaciones están rodeadas de polémica, hay bastantes probabilidades de que los monos, incapaces de producir lenguaje articulado, estén capacitados para entender y manejar el simbolismo que el lenguaje articulado comporta. No somos tan especiales, al fin y al cabo.

Además, la idea tradicional de que nuestros antepasados eran básicamente humanos desde los orígenes de la familia humana se ha venido igualmente abajo. Las evidencias de los registros fósil y arqueológico y los datos procedentes de la biología molecular indican que, aunque la primera especie humana evolucionó hace unos cinco millones de años, las preciosas cualidades del cerebro grande y la capacidad tecnológica parece que no surgieron hasta hace unos 2,5 millones de años. En nuestra prehistoria, y durante mucho tiempo, fuimos monos bípedos y nada más. La especie humana experimentó la misma expansión adaptativa que vemos en muchos grupos de grandes vertebrados terrestres: de la especie fundadora del grupo surgieron muchas especies nuevas, una selva de ligeras variaciones sobre un tema inicial. El advenimiento de la expansión cerebral que acaeció en el género *Homo*, de cuyo linaje somos el único miembro vivo, produjo un cambio importante. Ya no éramos sólo monos bípedos; éramos monos bípedos que habían comenzado una nueva adaptación, una forma primitiva de caza y recolección. Durante casi dos millones y medio de años el cerebro no hizo más que crecer y la adaptación cazadora-recolectora se hizo más compleja. No me cabe duda de que la aptitud del lenguaje se construyó también de modo gradual.

Desde esta perspectiva, el *Homo sapiens* puede adornarse con rasgos especiales, pero no estamos separados del resto del mundo natural por un abismo insondable; estamos vinculados a él por una serie de antepasados en los que estos rasgos se desarrollaron poco a poco. Me llama la atención, incluso me divierte, saber que algunos de mis colegas antropólogos se pronuncian sobre la prehistoria humana en términos muy distintos. Los humanos modernos, con nuestros preciosos rasgos de comportamiento, aparecieron hace muy poco y de forma repentina, aducen.

Todas las especies humanas anteriores al *Homo sapiens* moderno eran más monos que humanos; eran, por su capacidad cognitiva, su capacidad comunicativa y sus actividades de subsistencia, como los chimpancés. No comprendo cómo se puede decir una cosa así de una especie que tenía un cuerpo como el nuestro y una capacidad cerebral muy parecida y a veces superior. Lo único que se me ocurre es

que, al igual que los antropólogos de comienzos de siglo que no podían rebajarse a pensar en un origen evolutivo humano con algo tan vil como un mono, algunos de mis contemporáneos desean mantener a toda costa la frontera entre nosotros y el mundo natural. Es un deseo vano.

No somos por tanto, eso creo, ni tan especiales como se ha dicho ni estamos tan separados de nuestros parientes biológicos como muchos parecen desear. Pero aún así podríamos ser la culminación de la evolución: el inevitable y más complejo producto de este proceso creativo.

«La vida, plenamente entendida, no es una aberración del universo, ni el hombre una aberración de la vida», dijo en su celebérrimo libro *El fenómeno humano*, publicado en 1959, el jesuita, filósofo y paleontólogo Pierre Theilhard de Chardin. «Por el contrario, la vida culmina físicamente en el hombre, del mismo modo que la energía culmina en la vida.» La convicción de Teilhard de Chardin se basaba en su filosofía del flujo de energía conducido espiritualmente en el universo, cuyo predeterminado punto final es inevitablemente el Hombre. Tenemos que abordar el mismo problema, pero nuestro punto de referencia es lo que podemos inferir de nuestra comprensión del flujo físico de la vida, según se vio al principio de este libro. El asunto de la inevitabilidad de nuestra evolución está en cierto modo interrelacionado con la cuestión del incremento de la complejidad biológica en la historia de la vida, pero separaré los dos temas, los analizaré independientemente y al final volveré a unirlos.

La frase lapidaria de Charles Lyell «el presente es la clave del pasado» podría ser un poco optimista, porque estamos encorsetados en nuestra experiencia del presente. Por ejemplo, he estado más veces de las que puedo recordar en el lago Turkana, al norte de Kenia, buscando fósiles humanos antiguos en los sedimentos de arenisca que componen sus orillas oriental y occidental. Es un lago gigantesco en forma de pata canina que tiene unos 240 kilómetros de norte a sur y unos 50 de este a oeste. Nadie que lo contemple deja de sentirse impresionado por aquel desolado escenario de terreno árido y cocido por el sol. Desde la primera vez que estuve allí, en 1968, el nivel del agua ha bajado unos veinte metros, así que ahora tardamos un poco más en llegar a la orilla cuando salimos del campamento para hacer las abluciones matutinas. Esta bajada no me sorprendió, porque había leído informes de viajeros del siglo XIX que registraban fluctuaciones importantes en el nivel del agua. Pese a todo, es un lago gigantesco, se mire como se mire.

No obstante, las fluctuaciones de esta magnitud en la historia reciente del lago son menores, en comparación con los cambios que sufrió en la prehistoria. Frank Brown, de la Universidad de Utah, ha estudiado el lago y sus alrededores durante casi

dos décadas y ha cartografiado sus límites durante los últimos cuatro millones de años. Sus hallazgos son fabulosos. El lago actual estuvo oculto en otras épocas por una versión mucho mayor. Hace diez mil años, por ejemplo, las aguas abarcaban un área diez veces mayor que la actual. En otras etapas no hubo ningún lago en la cuenca del Turkana, sólo un río que la cruzaba. Aunque sé que lo que dice Brown es verdad, me cuesta muchísimo hacerme una idea por lo imponente que me resulta la presencia del lago en la actualidad. No puedo imaginar que no estuviera allí.

Afrontamos el mismo problema cuando pensamos en un mundo sin el *Homo sapiens*. La conciencia de uno mismo ha dejado en nosotros una huella tan profunda, a escala individual y de especie, que no podemos imaginarnos fuera de la existencia, y eso que durante cientos de millones de años los humanos no desempeñaron ningún papel en el flujo de la vida del planeta. Cuando Teilhard de Chardin dijo que «el fenómeno del hombre estuvo básicamente determinado desde el comienzo», hablaba tanto desde lo más hondo de la experiencia individual, que todos compartimos, como desde la filosofía de la religión. Nuestra incapacidad para imaginar un mundo sin el *Homo sapiens* tiene un impacto inmenso en la concepción que tenemos de nosotros mismos; se vuelve seductoramente fácil imaginar que nuestra evolución fue inevitable. Y la inevitabilidad da sentido a la vida porque hay una sólida seguridad en creer que las cosas son como han tenido que ser.

¿Cómo encaja esta atracción por la inevitabilidad con lo que sabemos de la historia de la vida?

Tenemos que responder a esto en dos niveles, el global y el local. El nivel global abarca las modificaciones principales de la historia de la vida, sobre todo las crisis bióticas que la jalonan y en concreto las Cinco Grandes. A nivel local hay cambios ambientales que han influido en la prehistoria humana.

Cuando consideramos la historia de la vida vertebrada en general, vemos una evolución que va de los peces a los anfibios, de éstos a los reptiles, luego a los mamíferos, a los primates y finalmente a los humanos, una progresión que camina desde lo primitivo hasta lo avanzado. «Si la evolución ha avanzado en una progresión tan lineal, ¿cómo podía haberse desarrollado la historia de otro modo?», pregunta retóricamente Stephen Jay Gould. La progresión parece tener cierta lógica, tanta que, como dice Gould, tendemos a suponer que «bien está, sea lo que fuere».[57] Pero sabemos muy bien que eso, probablemente, no es verdad.

Hoy sabemos que la explosión cámbrica fue un periodo de experimentación evolutiva sin precedentes, que produjo un amplísimo espectro de planes estructurales, o tipos, que fueron la base del resto de la historia de la vida. Puede que ese espectro de planes estructurales, hasta un centenar en total, agotara la capacidad de innovación disponible para la evolución, de suerte que si, por arte de magia, el proceso se repitiera, aparecerían los mismos tipos. Pero no hay ningún argumento ni teórico ni

empírico que apoye esta suposición. Es verdad que existen algunos límites en las posibilidades de la arquitectura biológica, por lo general relacionados con la biomecánica (no hay organismos con ruedas, por ejemplo). Pero ya exasperan muchos animales cámbricos nuestra experiencia de la vida, y también nuestra capacidad de fe. Así, aunque las formas no son infinitas, es muy probable que la cámbrica fuera sólo una de muchas faunas posibles. Rebobinemos la cinta, paseaos otra vez el vídeo (por repetir la metáfora con que Gould representó este experimento mental) y es posible que aparezcan otros mundos.

¿Y qué? Pues que uno de los planes estructurales que surgieron en la explosión cámbrica fue el fílum cordados, el tronco original de los vertebrados. Si hubiera otra producción de formas de vida tan explosiva es posible que no apareciesen los cordados. Y, como sabemos, si un fílum no aparece en la primera explosión creativa, ya no aparece nunca. El mundo resultante de pasar el vídeo otra vez podría ser un mundo sin columnas vertebrales: no habría peces, ni ranas, ni lagartos, ni leones, ni humanos.

Pero la explosión cámbrica produjo un cordado, un modesto organismo que Charles Walcott bautizó *Pikaia gracilens*. Dada su rareza en la fauna de Burgess Shale, no fue un actor destacado en la escena cámbrica. Existir, sin embargo, existió, de modo que se me podría acusar de proponer juegos de nulo valor intelectual. Es verdad, no podemos repetir la explosión cámbrica, de modo que nunca conoceremos la verdad de esta posibilidad. No obstante, podemos observar la coyuntura de la historia de la vida en que sobrevivieron los cordados, posibilitando nuestra existencia.

Uno de los temas principales que se perfilaron en la sección anterior fue que, aunque la selección darwiniana ha tenido importancia en las adaptaciones de los organismos, capacitándolas para las exigencias de la vida, las crisis bióticas suspendían provisionalmente las leyes darwinianas, sustituyéndolas por un código distinto del que sólo en los últimos tiempos hemos empezado a saber algo. Lo que sabemos, sin embargo, es que la casualidad desempeñó un papel tan desconcertante como importante a la hora de determinar qué especies sobrevivían y cuáles no. Y esta casualidad intervino en el destino del centenar aproximado de planes estructurales que se produjeron durante la explosión cámbrica: el azar estuvo presente en la selección de los treinta que formaron la base de la vida moderna. *Pikaia* sobrevivió a la primera de las colosales loterías de la vida y formó la raíz de todos los vertebrados, comprendido el *Homo sapiens*, aunque pudo no haber sido así. La supervivencia fue una cuestión de contingencia histórica, no de buen diseño, tema que Gould ha tratado de un modo convincente en los últimos años y que presentó detalladamente en *La vida maravillosa*.

Los vertebrados, tras sus humildes orígenes, fueron peces primero y luego tetrápodos terrestres; la transición fluyó de un grupo menor de peces, el de los

pulmonados-celacantos-ripidistios. «Pasemos otra vez el vídeo, suprimamos a los ripidistios por causa de extinción total y nuestras tierras conocerán el imperio absoluto de los insectos y las flores», observa Gould.[58] Pero el caso es que hubo transición y al final aparecieron los mamíferos, más o menos a la vez que los dinosaurios, a fines del Triásico, hace unos doscientos millones de años. Durante más de cien millones de años, los mamíferos desempeñaron un papel ecológico menor, mientras los «lagartos terribles» dominaban la vida terrestre. Y los dinosaurios gobernaron hasta su súbita desaparición a fines el Cretácico, muy probablemente víctimas (junto con millones de especies de todas las comunidades ecológicas) de las consecuencias del choque de un cometa con la Tierra. Si el cometa hubiera fallado el blanco, los dinosaurios podrían ser aún los tetrápodos terrestres dominantes y los mamíferos seguirían escurriéndose como criaturas del tamaño de una rata en el mundo crepuscular de los bosques densos.

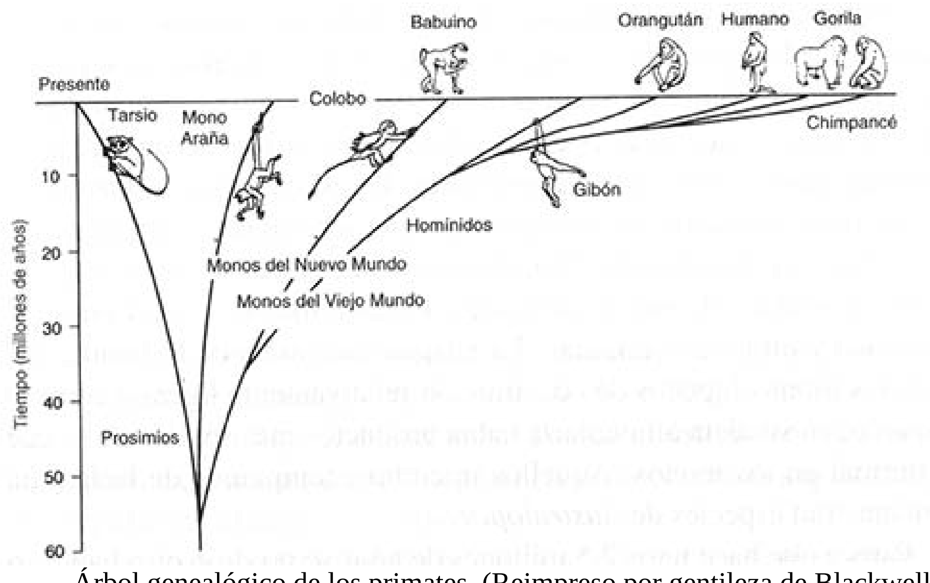
Pero el cometa cayó; los dinosaurios desaparecieron (sin dejar más descendientes que las aves); los mamíferos placentarios sobrevivieron, tras sufrir bajas relativamente menores, y con ellos una pequeña criatura, *Purgatorius*, el primate más antiguo. Pero ¿y si *Purgatorius* no hubiera sobrevivido…?

Podría acusárseme aquí de jugar a una partida de «¿y si…?» para la que no hay respuestas. Pero creo que Gould ha hecho bien en concienciarnos sobre el papel de la contingencia en el flujo de la vida, aunque sospecho que lleva la argumentación demasiado lejos. Contempladas sin embargo con serenidad, las extinciones en masa deben verse como uno de los elementos principales que forman la historia de la vida, y además de forma imprevisible. Esta imprevisibilidad significa que el progreso que llevó de los peces a nosotros fue sencillamente lo que ocurrió en la historia evolutiva, no lo que debió ocurrir. En este sentido, la historia de la vida supone que no hubo ninguna inevitabilidad en la evolución del *Homo sapiens*. Somos, como dice Gould, «un acontecimiento evolutivo altamente improbable».[59] Puede que nos cueste aceptarlo, pero seguramente es verdad.

La historia a escala local nos conduce a conclusiones muy parecidas a las que hemos visto a escala global. Hace veinte millones de años había un cinturón exuberante de bosque que cruzaba el continente africano, de oeste a este. Por entonces prosperaba una docena de especies de hominoideos, quizá más. Los monos no representaban aún una parte importante de la comunidad ecológica. Durante los quince millones de años siguientes se produjeron cambios espectaculares en el continente, impulsados sobre todo por fuerzas geológicas muy por debajo de la superficie. Por entonces (hace cinco millones de años) sólo quedaba un puñado de especies de hominoideos, los monos eran abundantes y la familia humana se había

desarrollado en algún punto del África oriental. Dos millones y medio de años después, las temperaturas del globo cayeron en picado y en los polos crecieron gigantescos casquetes de hielo. El género *Homo*, el linaje de cerebro grande que desembocó en nosotros, evolucionó. Tal es la historia, a grandes rasgos. Veamos ahora lo que ocurrió y por qué.

Las fuerzas geológicas que cambiaron la faz del continente procedían de la línea de separación de dos placas tectónicas que iba desde el mar Rojo, en el norte, hasta Mozambique, en el sur. La erupción de magma formó dos grandes «ampollas», el macizo Etiópico y el macizo de Kenia, los dos con más de dos mil metros de altitud. Mientras las placas se separaban, la roca continental de superficie siguió tensándose. Al final cedió, hace entre diez y doce millones de años, se produjo una falla y con la subsiguiente elevación del terreno se formó un valle largo y profundo, el Rift Valley, uno de los pocos accidentes geológicos visibles desde el espacio.



Árbol genealógico de los primates. (Reimpreso por gentileza de Blackwell Science/Roger Lewin).

Los efectos ecológicos de estos cambios físicos fueron espectaculares. Los vientos dominantes oeste-este que habían mantenido los bosques transcontinentales con humedad recogida en el Atlántico tropezaban ahora con una barrera, la elevación del terreno vinculada con el Rift Valley. Obligados a subir, los vientos descargaban la humedad, condenando a la tierra del este del valle a la escasez de precipitaciones. Privados de humedad, los bosques comenzaron a reducirse y a fragmentarse; fueron sustituidos por bosques despejados y, al final, por sabanas. Donde antaño se extendía un hábitat selvático más o menos continuo había ahora dos zonas ecológicas: el bosque que persistía en el oeste y el mosaico recién formado en el este, con tierras de árboles y hierba. Este mosaico lo enriqueció aún más el mismo Rift Valley, que produjo hábitats que iban desde las frías montañas hasta los tórridos y secos desiertos del fondo del valle. Los biólogos admiten que un hábitat con abundante

compartimentación es un potente motor evolutivo, porque ofrece muchas oportunidades para diferentes clases de adaptación. La elevada biodiversidad de la región en la actualidad confirma lo que decimos.

Las consecuencias ecológicas de la formación del Rift Valley parece que repercutieron en la evolución de la familia humana. Los humanos tenemos los mismos antepasados que los chimpancés actuales, que se fueron por otro camino hace unos cinco millones de años. Al oeste del valle, los antropoides podían seguir llevando la vida a la que estaban adaptados, es decir, en tierras densamente pobladas de árboles y selva. Es allí donde viven los chimpancés y los gorilas actuales. La tierra situada al este del valle no era lugar para los monos, ya que los bosques desaparecían conforme menguaba el nivel de las precipitaciones. Una teoría convincente sobre el origen del bipedismo, el rasgo que fundó la familia humana, dice que fue una adaptación para conseguir una locomoción más eficaz entre fuentes de alimentación ampliamente repartidas. Hay otras teorías, pero ésta es biológicamente coherente, dados los cambios de hábitat de entonces.

Sabemos muy poco de la parte más antigua de la prehistoria de la familia humana, ya que no existe el registro fósil prácticamente hasta hace unos cuatro millones de años. (La antigüedad de cinco millones de años que damos a la familia procede de la comparación de genes humanos y de monos africanos, y de fósiles descubiertos hace poco.) Hace unos tres millones de años el registro se llenó lo suficiente para que hoy veamos que en el este y el sur de África coexistieron varias especies humanas, esto es, monos bípedos. Es exactamente la pauta que vemos en la evolución de una nueva adaptación, en este caso un novedoso modo de locomoción. Durante varios millones de años se desarrolló un abanico de variaciones sobre el tema inicial, y unas especies aparecían y otras se extinguían. La adaptación básica de la familia fue la de los monos bípedos de constitución relativamente ligera y cerebro pequeño; en su dieta alimentaria había productos más sólidos de lo que es normal en los monos. Aquellos miembros tempranos de la familia humana eran especies de *Australopitecus*.

Parece que hace unos 2,5 millones de años se produjo otro bandazo evolutivo en la familia humana, dando lugar a dos adaptaciones en un ambiente parecido. En uno se acentuó la adaptación inicial y apareció un mono bípedo que vivía en ambientes más secos y comía productos vegetales aún más duros. El segundo abarcó varios cambios de primera magnitud, entre ellos el desarrollo de un cuerpo más atlético, un cerebro mayor y, significativamente, la inclusión de carne en la dieta alimentaria, acontecimiento posible gracias a la fabricación y uso de herramientas de piedra. Era el género *Homo*, del que pudo haber varias especies en los primeros tiempos. Las dos direcciones evolutivas pueden considerarse adaptaciones a un ambiente más árido.

¿Ocurrió algo importante hace 2,5 millones de años que pueda explicar este torbellino de actividad evolutiva? Creo que sí y me remito al trabajo de Elisabeth

Vrba, a lo que ella llama «hipótesis de la renovación pulsante». Vrba, antropóloga sudafricana que trabaja actualmente en la Universidad de Yale, pasó muchos años analizando la historia evolutiva de los antílopes de África del sur y del este. Aprecia brotes evolutivos hace 5 y 2,5 millones de años, momentos de elevado enfriamiento global. El enfriamiento cambió el entorno, obligando a emigrar a las comunidades ecológicas y a veces a fragmentar los hábitats antaño continuos en partes pequeñas. Aunque las especies animales procuran emigrar con el hábitat, manteniendo las condiciones a las que están adaptadas, a veces no pueden. Tropiezan con barreras físicas o quedan atrapadas en refugios, parcelas de lo que antes había sido un territorio grande.

Dos destinos posibles aguardan a las especies así atrapadas. O se extinguen o, en virtud del aislamiento genético, se modifican y producen una especie distinta. En consecuencia, los cambios importantes en el clima, como los periodos de enfriamiento de hace 5 y 2,5 millones de años, provocan erupciones de especiación en consonancia con erupciones de extinción. Es la renovación pulsante de Vrba y se produce en todas las comunidades ecológicas. El segundo enfriamiento, por ejemplo, produjo erupciones evolutivas no sólo en los humanos y los antílopes, sino también en los roedores y en muchas especies vegetales. El efecto puede apreciarse en África y también en Asia y en Europa. Adviértase que esto supone que el motor evolutivo se alimentó del cambio ambiental externo, no de la competencia interior, como sugiere la teoría darwiniana clásica.

Ya he dicho que la familia humana se originó hace unos cinco millones de años y que esta estimación se basaba en pruebas genéticas y en indicaciones de fósiles recién descubiertos en Etiopía y en Kenia. La fecha coincide con la hipótesis de la renovación pulsante en virtud del señalado enfriamiento global de entonces. Es posible que dicho enfriamiento fuera una causa evolutiva de la aparición de la familia humana, pero no podemos afirmarlo con convicción.

Deberíamos volver al juego de «¿y si…?», que es el tema que nos ocupa. Si no se hubieran producido las fuerzas tectónicas que formaron el Rift Valley, es posible que el continente estuviera cubierto aún por una alfombra selvática; albergaría muchas especies de monos, pero no monos bípedos. Pero dejemos que el valle se forme, como en efecto se formó, y nos dé monos bípedos de cerebro pequeño. Si el enfriamiento de hace 2,5 millones de años no se hubiera producido, no habría habido pulso evolutivo, no habría impulsado una adaptación a un entorno más árido, no habría habido ninguna especie de *Homo* y tampoco nosotros estaríamos aquí.

Mientras el motor de la evolución se alimente principalmente de fuerzas externas (acontecimientos imprevistos en el entorno), nada será inevitable en la historia evolutiva. Cada especie es una contingencia histórica. Pueden describirse los acontecimientos que conducen a la evolución de cada especie del mismo modo que

los acontecimientos históricos. Pero ello no supone que fuera necesario que los acontecimientos se desarrollaran como lo hicieron. Se desarrollaron, eso es todo.

Pocos contenciosos tienen tan garantizada la polémica entre los biólogos como el de la complejidad o, más concretamente, la idea de que el proceso evolutivo ha aumentado la complejidad biológica. A primera vista, la conclusión parece obvia: naturalmente que sí. La vida comenzó en forma de células sencillas y aisladas, progresó con los insignificantes invertebrados, siguió ascendiendo con los peces, los anfibios y los mamíferos y llegó a lo más alto con una especie capaz de reflexionar sobre su propia evolución. Pocos dudarían de que incluso el mamífero más primitivo es más complejo que un organismo unicelular. Pero si limitamos la cuestión a los organismos pluricelulares, ¿por qué no comparamos a un mamífero con un reptil? Los mamíferos son más activos, tienen la temperatura corporal alta, suelen ser más sociables y, desde luego, tienen un cerebro más grande. Estas cualidades parecen suponer mayor complejidad y nos cuesta poco admitirlo. ¿Dónde está, pues, el problema?

Hay tres problemas: de percepción, filosófico y práctico. Como somos vertebrados terrestres grandes, tendemos a concentrarnos en el mundo biológico en que vivimos y a valorar las características que encontramos en él, por ejemplo la sociabilidad y la inteligencia. Pero los árboles están fantásticamente sintonizados con su medio químico, por ejemplo, y las polillas pueden detectar la presencia de una pareja potencial a kilómetros de distancia, orientados por las feromonas del aire. ¿No hay que valorar también estas cualidades?

Eso en cuanto al problema de percepción. El filosófico es complejo de por sí y se relaciona con la frecuente refundición del aumento de la complejidad con un impulso innato hacia el progreso evolutivo. Los biólogos se desentienden de los impulsos innatos de esta clase y ya vimos que la idea de progreso en la evolución humana tendía en el pasado a justificar que se aludiera a las razas distintas de la nuestra como si fuesen inferiores o estuviesen menos desarrolladas. El problema práctico puede exponerse con una sencilla pregunta: ¿con qué parámetros hay que determinar el nivel de complejidad? No hay ninguna forma natural de medirla.

Aplicaré algunos de estos problemas al tema del presente capítulo: ¿somos los humanos la culminación de la evolución? Para la mayoría, la pregunta se refiere al cerebro humano y sus extraordinarias facultades. (A fin de cuentas, nuestro cuerpo no tiene ningún derecho especial a considerarse más complejo que el de cualquier otro mamífero.) Podemos preguntarnos en buena ley si nuestro cerebro representa la culminación (actual) de los procesos evolutivos en lo que se refiere a sus cualidades analíticas y creativas y a su conciencia de sí mismo.

Convendría empezar por la teoría de la selección natural misma. Stephen Jay Gould, el autor que más escribe en nuestros días sobre asuntos de evolución, lo deja

bien claro: «La negación tácita de la progresión innata es el rasgo más característico para diferenciar la teoría darwiniana de la selección natural de otras teorías evolucionistas decimonónicas».[60] Sugiere Gould que uno de los motivos por los que la teoría de Darwin fue mal acogida al principio por sus contemporáneos Victorianos fue precisamente que negara el progreso en la evolución: «No propone ningún principio perfeccionador, ninguna garantía de mejora general; en pocas palabras, ningún motivo para gozar de la aquiescencia general en un clima político que favorecía el progreso en la naturaleza».[61]

Es cierto que la selección natural opera a corto plazo, respondiendo a las circunstancias dominantes mediante la adaptación inmediata. Es un fenómeno local, no global, un fenómeno en que no se ve ninguna flecha que apunte a una complejidad mayor. Darwin, sin embargo, en *El origen de las especies* y otros escritos, fue ambivalente a propósito del progreso, unas veces lo negaba y otras lo hacía suyo. Por ejemplo, en una carta al biólogo estadounidense Alpheus Hyatt, escribió en 1872: «Después de largas reflexiones, no puedo desprenderme de la convicción de que no existe ninguna tendencia innata hacia la evolución progresiva». No obstante, en el capítulo de *El origen* sobre «La sucesión geológica de los seres orgánicos» dijo que si especies de una era anterior se pusieran a competir con otras modernas, las antiguas «serían derrotadas y exterminadas sin remedio». Y añadió: «No dudo que este proceso de mejora haya afectado de un modo notable a la organización de las formas de vida más recientes y victoriosas, en comparación con las formas antiguas y derrotadas; pero no veo la manera de poner a prueba esta especie de progreso».[62]

Aunque algunos contemporáneos de Darwin, como Charles Lyell, se detenían ante la idea de progreso en la naturaleza, ya que suponía que los humanos, con su sentido moral, sólo eran monos avanzados, evolución y progreso no tardaron en ser sinónimos. El filósofo británico Herbert Spencer, inventor del concepto de «supervivencia de los más aptos», dijo en 1851 que «el progreso… no es una casualidad, sino una necesidad». Poco después, Henry Fairfield Osborn, director del American Museum of Natural History durante las primeras décadas del siglo XX, escribió: «La doctrina darwiniana de la evolución… ha sido y será el medio de la evolución progresiva». Hablaba en nombre de casi todos sus colegas.

Hasta hace cosa de una década no había objeciones, entre la mayoría de los biólogos, a que se hablara de un aumento de la complejidad como resultado de la evolución ni a que se empleasen los términos «progreso» y «complejidad» de modo indistinto. Hace poco, sin embargo, se ha introducido en la comunidad cierto nerviosismo y hoy resulta aceptable hablar de complejidad, pero no de progreso. El progreso, se dice, supone una especie de tendencia misteriosa e innata hacia el mejoramiento, y esta idea adolece de misticismo. Fue por tanto una prueba de valor que, en 1987, Matthew Nittecki, del Field Museum de Chicago, organizara unas

jornadas sobre la evolución y el progreso. Todos menos un ponente, el genético Francisco Ayala, negaron su realidad. Dijo Ayala: «La capacidad para obtener y procesar información sobre el entorno, y para reaccionar en consecuencia, es una adaptación importante porque permite que el organismo busque entornos y recursos que le convengan y eluda los que no». Esta adaptación se ha vuelto más sutil en el curso de la historia evolutiva, añadió. Volveré sobre este importante punto.

Gould fue quien más negó el progreso, afirmando que es «una idea perniciosa, culturalmente predeterminada, inestable e inmanejable que debe reemplazarse si queremos entender las pautas de la historia». Es perniciosa, dijo, por el contexto social en que el progreso se ha utilizado para justificar el racismo y la represión de los pobres y socialmente desprotegidos.

Desde que se celebró la conferencia de Chicago ha habido algunos movimientos para determinar si la complejidad aumenta o no en el tiempo evolutivo. Uno quiso determinar si la estructura de la columna de determinados grupos de animales (ardillas, rumiantes y camellos) se había vuelto más compleja en un periodo de treinta millones de años. Otro se propuso lo mismo, pero con la estructura interna de la concha de los amonoideos, las criaturas con concha parecidas al nautilo que existieron durante 330 millones de años y se extinguieron cuando los dinosaurios. Los dos estudios llegaron a la conclusión de que no podía demostrarse la presencia de ningún aumento de la complejidad. Fueron intentos valientes que hicieron lo que pocos se atrevían a hacer. A fin de cuentas, el gran biólogo evolucionista George Gaylord Simpson dijo en cierta ocasión: «Buen anatomista será quien quiera demostrar que el hombre del Holoceno es más complejo que un ostracodermo del Devónico».[63]

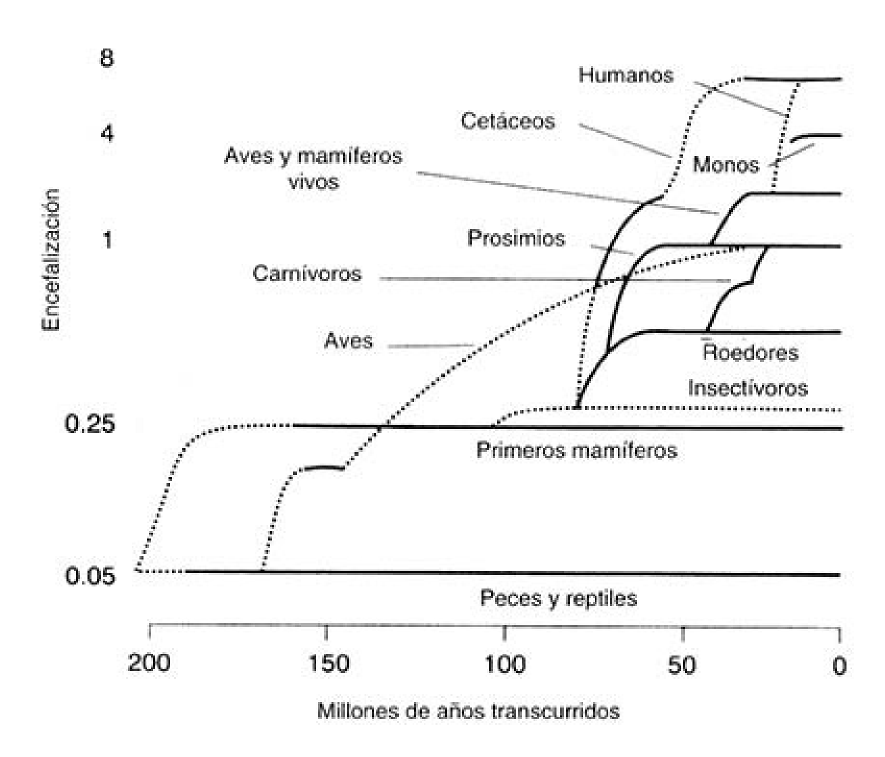
No sé qué pensar de estas investigaciones. Puede que no hubiera aumento de la complejidad en lo que medían estos científicos. Puede que los investigadores midiesen lo que no correspondía. Puede que hubieran tenido que observar las características entre grupos y no las propias de cada uno. Sospecho que lo último es pertinente y estoy de acuerdo con Simpson cuando afirmó: «Hay ciertamente una tendencia general (de lo simple a lo complejo) que ha caracterizado la progresión de la evolución en conjunto».[64] Aquí levanto la mano y sugiero que observemos la evolución del cerebro en el Fanerozoico para ver qué cambios se han producido en conjunto.

El más evidente afecta al tamaño, concretamente al tamaño relativo. Por ejemplo, si nos fijamos en las diferencias de tamaño físico, vemos que el encéfalo humano es por lo menos cien veces mayor que el de los primeros anfibios o reptiles, hecho que nos parece significativo. En *El origen del hombre*, de 1871, decía Darwin: «Creo que nadie duda de que la elevada proporción entre el encéfalo del hombre y el conjunto de su cuerpo, comparada con la proporción que encontramos en el gorila y el

orangután, está estrechamente vinculada con sus facultades intelectuales». Darwin sin duda tenía razón, aunque en su afirmación hay dos suposiciones tácitas en las que cree todo el mundo y que no son necesariamente verdaderas. Primera, que cuanto más grande más inteligente. Segunda, que el encéfalo de los vertebrados evolucionó de manera inevitable hacia algo tan poderoso como el encéfalo humano.

Harry Jerison, de la Universidad de California-Los Ángeles, trazó hace dos décadas la historia de la evolución del encéfalo de los vertebrados en su libro clásico *Evolution of the Brain and Intelligence*, y desde entonces ha completado muchos detalles. Desarrolló la idea del cociente de encefalización para medir el encéfalo en relación con el tamaño de todo el cuerpo, y recorrió sus cambios en la historia evolutiva. En términos generales, la pauta es como sigue. Con la evolución de los primeros reptiles se estableció la pauta del grupo. Los reptiles tenían el encéfalo pequeño hace trescientos millones de años y lo siguen teniendo pequeño actualmente. Si comparamos el tamaño relativo del encéfalo y el cuerpo (en una proyección bilogarítmica) de todas las especies de reptiles que caigan en nuestras manos, existentes o desaparecidas, veremos una línea recta que da fe de una encefalización constante en la historia de los reptiles. Los dinosaurios, muchos de los cuales tuvieron un cuerpo mucho mayor que cualquiera de los reptiles vivos en la actualidad, siguen la misma norma, desmintiendo así el mito de que estuvieron condenados a la extinción a causa de su limitada capacidad mental.

Cuando, hace unos doscientos millones de años, evolucionaron los primeros mamíferos, estas pequeñas criaturas nocturnas habían experimentado un aumento en la encefalización y su encéfalo era entre cuatro y cinco veces mayor que la media reptiliana. Cuando se compara el tamaño relativo de su encéfalo y su cuerpo, se produce, al igual que en muchas especies anteriores, una línea recta en el caso de los mamíferos arcaicos; es la misma línea recta que en el caso de los reptiles, pero desplazada hacia arriba, tendencia que refleja el aumento de la encefalización. Este cambio, por cierto, coincidió con la aparición del neocórtex, la fina capa de células que cubre la parte posterior del prosencéfalo (el cerebro propiamente dicho) y que en última instancia es responsable de las funciones cognitivas superiores. El neocórtex es exclusivo de los mamíferos, y es responsable en parte del aumento de la encefalización (el resto del encéfalo creció también). Ni siquiera las aves, que evolucionaron poco después que los mamíferos y alcanzaron un nivel equivalente de encefalización, poseen neocórtex.



El encéfalo creció escalonadamente a medida que evolucionaban nuevos grupos en el tiempo.

El encéfalo mamífero, una vez establecido en los grupos primitivos, se mantuvo al mismo nivel durante cien millones de años por lo menos. Luego, con la aparición de los mamíferos modernos, hace unos sesenta y cinco millones de años, pero en particular hace unos treinta y cinco millones, se produjo otro salto en la encefalización, otro salto cuádruple o quíntuple. Ungulados y carnívoros encabezaron este aumento, con los primates en primera línea. Los prosimios, que representan la forma más antigua de los primates, y que hoy comprenden especies como los gálagos y los lémures, evolucionaron, ya en los primeros tiempos, un poco por debajo del nivel de los mamíferos modernos. Los antropoideos, que comprenden los monos, los antropoides y los humanos, están por encima. La proporción, en los monos, es dos o tres veces la media de los mamíferos modernos, y en los humanos es aproximadamente seis veces. Los humanos comparten este primer puesto con ciertos cetáceos como el delfín.

No todos los mamíferos vivos participaron en el último salto encefalizador. Los insectívoros, por ejemplo, se quedaron muy cerca del grado de los mamíferos arcaicos, y lo mismo le pasó a los marsupiales como la zarigüeya. El registro fósil de las aves es escaso y, en consecuencia, cuesta distinguir en él la pauta de cambio. Sin embargo, las primeras aves estaban cerca del nivel de los mamíferos arcaicos, mientras que las aves modernas están cerca del mamífero moderno medio.

Representada así, a grandes rasgos, la película de la evolución encefálica de los vertebrados olvida sin duda algunos detalles importantes. Sin embargo, pone de manifiesto dos motivos conductores. Uno es la continuidad y el otro los ocasionales

momentos de cambio. Cómo se interprete esta pauta general depende posiblemente de alguna filosofía básica. Los que argumentan contra cualquier cambio progresivo y orientado hacen hincapié en la continuidad en el seno de los grupos principales. Gould es un notable defensor de esta posición. Los que buscan direcciones fundamentales en la evolución hacen hincapié en el cambio. El difunto Allan Wilson, de la Universidad de California-Berkeley, prefería esta concepción.

Según Wilson, el cerebro alimentó su propia evolución. Cuando se manifiesta un nuevo comportamiento en un individuo de una población, lo aprenden los demás individuos de la misma población que están genéticamente predispuestos para ello. La predisposición genética para la innovación y el aprendizaje son impulsados, pues, por selección natural, formando un bucle retroactivo que, en principio, debería acelerar el proceso en el tiempo. El comportamiento, no el cambio climático ni otras fuerzas externas, impulsa la evolución, decía Wilson: los cerebros grandes engendran cerebros mayores y así sucesivamente.

Ahora bien, el estancamiento en la encefalización que conocieron los mamíferos arcaicos durante cien millones de años no parece demostrar precisamente que hubiera ningún bucle retroactivo funcionando positivamente. No obstante (decía Wilson), hágase una comparación relativa de los principales cambios en el tiempo (de los reptiles a los mamíferos arcaicos, de éstos a los mamíferos modernos, de éstos a los monos, de éstos a los humanos) y se verá un ritmo ascendente de cambio. «Una curva que adquiere esta forma supone que el proceso es autocatalítico», dijo Wilson en una conferencia de principios de 1991, poco antes de su fallecimiento. «Quiero decir que el cerebro ha impulsado su propia evolución en el linaje que conduce a los humanos.»

Si recordamos lo que decía Ayala sobre «la capacidad de obtener y procesar información» como adaptación que tiende hacia el progreso, es lícito admitir el crecimiento encefálico entre los grupos principales en el tiempo evolutivo. Algunos biólogos aceptan la realidad del aumento de la complejidad, pero describen éste como efecto, no como tendencia. Por efecto entienden el fruto de la competencia en una situación de Reina Roja, donde, por ejemplo, una carrera a muerte entre el predador y la presa da como resultado una especie predadora más veloz y una especie presa más ágil. Las mejoras son una respuesta local a una situación competitiva, no una tendencia del mecanismo de la misma evolución. Pero si los organismos, en tanto que sistemas complejos, se ven obligados a mejorar su capacidad para obtener y procesar información, habrá un empuje hacia un crecimiento del cerebro a través de las etapas inmóviles del cambio evolutivo, sobre todo en los momentos de las innovaciones importantes.

Sé que esta conclusión no gustará a los puristas de la biología, que me acusarán de ser «encefalocéntrico». Señalarán la multitud de rasgos del mundo que han sufrido impactos de mayor relieve que las maquinaciones de un ejército de neuronas. Tienen

razón: las bacterias son un ejemplo y los hongos otro. Y Gould ha insinuado lo siguiente, a propósito de las preocupaciones cerebrales: «El plan que hay detrás de todo esto es el interés por la conciencia humana… Si creemos que hay un aumento inexorable del cerebro en la historia evolutiva, entonces la conciencia humana se vuelve previsible, ya no es una casualidad repentina».[65] Creo, sin embargo, que es absurdo negarse a ver la muy real complejidad biológica del cerebro y la innegable superioridad del cerebro humano. Coincido con Edward Wilson cuando escribió: «No queramos negar en nuestra filosofía lo que en nuestro corazón sabemos que es cierto».[66]

En este sentido, pues, los humanos somos la culminación de la evolución, la expresión más elevada del cómputo biológico. Es verdad que hemos llegado a este punto gracias a muchas casualidades afortunadas, por eso no podemos creer que nuestra especie haya estado predeterminada, como quería Theilhard de Chardin. No podemos consolarnos creyendo que la evolución del *Homo sapiens* fue inevitable. Pero la evolución de una capacidad mental como la nuestra y la aparición de un nivel de conciencia como el nuestro fueron, probablemente, inevitables y previsibles en cierto punto de la historia de la Tierra. Y da la casualidad de que somos la especie en que se manifestaron.

7
Un sinfín de formas bellísimas

La última frase de *El origen de las especies* de Charles Darwin es tan célebre como poética:

«Hay grandiosidad en la concepción que piensa que la vida, con sus diversas fuerzas, fue insuflada al principio en unas cuantas formas o en una sola; y que mientras este planeta ha estado rodando de acuerdo con la establecida ley de la gravedad, de tan sencillo comienzo evolucionó y evoluciona todavía un sinfín de formas bellísimas, las más maravillosas».[67]

Cuando, hace unos cinco millones de años, apareció la primera especie humana, no fue sino una entre aquel «sinfín de formas bellísimas», lo mismo que ahora el *Homo sapiens*. Fruto de los altibajos de la vida (en virtud de la interacción de los procesos evolutivos y la a veces caprichosa mano de la extinción), nosotros y las demás especies que compartimos este planeta formamos una comunidad global de diversidad casi sin precedentes. Ya vimos en el capítulo anterior que durante los últimos cien millones de años el motor de la evolución produjo un crecimiento neto de la diversidad de especies sin paralelo en la historia de la vida pluricelular, con la excepción de su explosivo comienzo. Interrumpido breve y espectacularmente por la extinción del Cretácico, este crecimiento dio lugar a un mundo que en los últimos tiempos posee más especies que en ningún otro periodo de la historia de la Tierra.

Para el paleontólogo, la riqueza del flujo de la vida es espectacularmente palpable en el registro fósil. Aunque he dedicado muchos años de mi vida profesional a la historia de la familia humana, desde siempre he tenido presente el amplio contexto ecológico en que se desarrolló. La biota de África oriental, que es la que mejor conozco, ha sufrido grandes modificaciones evolutivas durante los últimos quince millones de años, en gran medida a causa de cambios geológicos no menos importantes. Contemplados como una obra de teatro que se representa en el tiempo, esos quince millones de años han presenciado una incesante modificación del reparto de personajes en los mutables escenarios de las comunidades complejas. Cada una de estas comunidades era una totalidad en sí misma, pero, como revela el registro fósil, cada una tenía una historia y, como es lógico, un futuro. Creo que la perspectiva del paleontólogo a propósito de la actual diversidad biológica tiene muchísima importancia, aunque sea una opinión que sólo hasta hace muy poco empieza a admitirse entre los estudiosos de la ecología.

Cuando me nombraron director del Departamento de Conservación de la Fauna, salí del pasado para meterme en el más vivo presente, pasé de interesarme por especies extintas a preocuparme por especies amenazadas de extinción. La fauna de

Kenia es variadísima y comparable por su amplitud a la diversidad biológica que puede verse en casi cualquier región del mundo. Mi función de director consistió al principio en promover acciones de emergencia, es decir, poner freno a la devastadora caza furtiva, en particular de elefantes y rinocerontes. La inmensa biodiversidad de mi país me desbordaba irremediablemente, por lo menos así fue durante un tiempo. Pero en los momentos de reflexión, cuando me alejaba de las apremiantes obligaciones del cargo, por ejemplo cuando cogía un pequeño avión y salía de Nairobi rumbo al sur, hacia el parque nacional de Tsavo, y por la costa hacia el oeste, hacia Masai Mara, o, en ocasiones no infrecuentes, hacia el norte, hacia el lago Turkana, recordaba la riqueza de la vida que había a mis pies.

Los estudiosos de la ecología hablan de tres medidas de diversidad biológica. La primera, la diversidad alfa, refleja la cantidad de especies que hay dentro de una comunidad ecológica. La diversidad beta compara la composición de especies que hay en comunidades vecinas diferenciadas por algunas características físicas, por ejemplo la altura. La diversidad gamma, la tercera medida, comprende comunidades esparcidas en un radio geográfico más amplio y, por tanto, puede abarcar regiones separadas entre sí por muchos kilómetros y con hábitats parecidos. Volar de Nairobi al lago Turkana significa ver las tres medidas.

Nairobi se encuentra a mil seiscientos metros de altitud, en el gran macizo que hace quince millones de años se elevó de la corteza continental, casi a ras del océano, hasta rebasar los tres mil metros en el punto más elevado. Al salir de Nairobi en dirección norte tengo que sortear la cornisa del Rift Valley, que se alza a unos mil trescientos metros por encima de la ciudad. El terreno, de lo más fértil, es un rico y rojizo suelo volcánico en el que se asienta un rompecabezas de plantaciones de té y café, con algunos pueblos. Remontar la cornisa del valle siempre es espectacular: aparecen paisajes llamativos en todas direcciones y volubles masas de nubes por arriba y por abajo; siempre lanzo un suspiro de alivio cuando rebaso la peligrosa sierra.

Hacia el oeste, las paredes del valle caen casi en picado, creando un contraste entre las fértiles alturas y el estéril fondo del valle. Los montes Aberdare, al este del trayecto aéreo, reciben humedad en abundancia y sustentan una fauna fabulosamente diversificada, con elegantes colobos blanquinegros e incluso leopardos. Antes había también docenas de miles de elefantes, pero ya no, porque la caza furtiva y la explotación agrícola de estas fértiles tierras han reducido su número; en la actualidad sobreviven allí alrededor de cinco mil ejemplares. Más allá de los Aberdare, hacia el este, se encuentra el monte Kenia, que asciende hasta su nevada cumbre un poco más de cinco mil metros. Hay espectaculares contrastes en este singular paisaje: glaciares de montaña, prados alpinos y densos bosques templados en las faldas del Kenia, bosques húmedos y exuberantes en las laderas inferiores de los Aberdares, árido

desierto en el suelo del valle y, conectando todo esto, un mosaico complejo y gradual de vegetación. Sé que, al margen de los glaciares, la diversidad de la vida animal y vegetal en estos hábitats es grande; es diversidad alfa. Y sé que si subiéramos hasta las laderas más altas del monte Kenia pasaríamos por mundos biológicos muy diferentes, del subtropical al alpino, en menos de medio día de caminata; es la diversidad beta.

El contraste entre las comunidades ecológicas que sobrevuelo en este viaje que al cabo de tres horas me deja en la parte oriental del lago Turkana es sobrecogedor, ya que comprende todo lo dicho y más aún. Cruzo el borde de la meseta Laikipia y durante la segunda hora y media de vuelo veo ríos de lava y cráteres, lagos secos, restos de ríos que desaparecen en la sequedad del terreno y, por último, las terrazas de arenisca que forman la orilla oriental del gigantesco lago. Donde aterrizamos hay menos diversidad alfa, como es lógico; lo deciden las escasas precipitaciones y las altas temperaturas. Aun así, hay más vida en la región de la que perciben a simple vista casi todos los visitantes, y suficiente para sustentar manadas de ñúes, topis, los leones más selectos e incluso leopardos. El viaje permite entrever la diversidad gamma de Kenia y comparar comunidades distribuidas en un radio muy grande; es igualmente elevada y a la vista está la importancia de la variación topológica en la producción de esta diversidad. El abanico de altitudes, que forma una miríada de hábitats que difieren en temperatura, humedad e incontables rasgos microclimáticos, sustenta (mejor dicho, genera) un rico mosaico de comunidades ecológicas.

Cuando en vez de dirigirme al norte de Nairobi pongo rumbo al oeste, para cruzar el Rift Valley y entrar en Uganda y más allá, no tarda en reverdecerse el paisaje que tengo delante, que se convierte en un tapiz de bosque tropical que lo cubre todo. Es la patria de los grandes monos africanos. Los bosques tropicales albergan una gran diversidad, es cierto, pero sin las variaciones topológicas que vemos en el Rift Valley les falta contraste, un elemento importante de la diversidad gamma; no vemos aquí las manadas de animales de las llanuras, ningún lagarto adaptado a la árida vida del desierto, ninguna flor alpina. Entre otros muchos factores, la variación topológica del este del Rift Valley, con su mosaico de hábitats, puso en movimiento la temprana evolución de la familia humana.

He hablado de mis experiencias personales, en paleontología y en la protección de la fauna de Kenia, como una forma de presentar la idea de la biodiversidad en el mundo actual, que es el tema de este capítulo. Ampliaré ahora mi horizonte más allá de las fronteras de Kenia, más allá de África, hasta abarcar el globo, y mientras lo hago propondré dos problemas, los dos capitales para la moderna ecología evolucionista. El primero se refiere a la forma de la biodiversidad y a los procesos que la generan a escala local y global. Veremos que, aunque la forma puede describirse con alguna seguridad, ya que consiste en lo que tenemos delante, los

procesos que potencian su origen no son evidentes en absoluto. El segundo problema, qué cantidad de especies constituye la diversidad global de la que formamos parte, parece de fácil solución. No lo es. Explicaré el motivo.

La forma general de la biodiversidad tiene muchos elementos, pero aquí me concentraré en dos de máxima importancia. El primero es la distribución global de la vida, es decir, dónde se encuentra la mayor parte de las especies. El segundo compara la diversidad de la vida marina con la de la vida en tierra. Los dos están relacionados por un vínculo básico, a través del motor de la evolución y la dinámica de los ecosistemas.

La pauta más chocante de la diversidad biológica del mundo es su distribución desigual. Por decirlo esquemáticamente, la diversidad de especies es máxima alrededor del ecuador y mengua de manera gradual conforme subimos de latitud, es decir, a medida que viajamos hacia los polos. Quien viva en Norteamérica o en Europa y haya estado por ejemplo en Kenia advierte enseguida tal contraste. Salta a la vista en lo que se refiere al mundo de los mamíferos, no sólo por las impresionantes imágenes de migraciones en manada, ni por los leones, leopardos y guepardos que tanto fascinan a los turistas, sino también por la riqueza de la vida ornitológica y, naturalmente, por el zumbante mundo de los insectos. También salta a la vista en el reino de la vida vegetal, sobre todo en los bosques húmedos, donde abundan y se combinan las especies arborícolas y los epifitos que crecen en ellas, así como los microepifitos que crecen en ellos. Y si mirásemos a niveles microscópicos (hongos y bacterias), veríamos la misma ubérrima riqueza de formas de vida kenianas, que sobrepasan con diferencia las del país de origen de casi todos los turistas.

Etiquetado como «gradiente latitudinal de la diversidad de especies», este rasgo de genio de la naturaleza lo conocen los biólogos desde hace muchos años. Ha inspirado incontables hipótesis que, al querer explicarlo, han dado origen a la ecología teórica. También tiene muchas consecuencias para la biología de la conservación: la destrucción de un kilómetro cuadrado de hábitat en los trópicos pone potencialmente en peligro por lo menos diez veces más especies que la destrucción de un área equivalente en las regiones templadas. Las pluvisilvas de los trópicos son particularmente ricas en biodiversidad: abarcan un dieciseisavo de la superficie terrestre del planeta y, sin embargo, cobijan más de la mitad de sus especies. La destrucción incesante de estos bosques es, por tal motivo, un problema preocupante.

La importancia de las pluvisilvas no debería resaltarse, sin embargo, a expensas de otros hábitats tropicales, como ha revelado un estudio reciente. En un censo sobre casi un millar de especies mamíferas que viven en América del Sur, el biólogo Michael Mares, de la Universidad de Oklahoma, advirtió que, por lo que se refiere al

menos a ciertos tipos de especies, la diversidad más rica se encontraba, paradójicamente, en regiones secas (por ejemplo en los «llanos» de Venezuela y Colombia, en los paisajes herbáceos del «cerrado» y arbustivos de la «caatinga» de Brasil, en los carrascales del Gran Chaco y en las pampas argentinas). «Las tierras secas suelen considerarse zonas de baja diversidad», dijo en el trabajo que publicó en *Science*, «pero para los mamíferos son las zonas continentales con más abundancia de especies».[68] El hallazgo de Mares no merma el valor de la alta biodiversidad de las pluvisilvas tropicales, pero amplía nuestro conocimiento sobre el lugar de la diversidad. Como dijeron los ecólogos Stuart Pimm y John Gittleman, de la Universidad de Tennessee, en un comentario al artículo de Mares, «sabemos muy poco sobre dónde se encuentra la diversidad, por qué está allí y qué será de ella».[69]

Antes de analizar las razones que se han sugerido para explicar la abundancia de especies en los trópicos pondré algunos ejemplos sobre la inclinación del gradiente. Si nos gustaran las hormigas y fuéramos de Alaska a Brasil contando las especies de las regiones por las que pasáramos, al comienzo del viaje tendríamos sólo tres y al final unas 222. Hay una diferencia de casi dos órdenes de magnitud. El más famoso amante de las hormigas es el biólogo Edward Wilson, de Harvard, que en una conferencia científica sobre biodiversidad, celebrada en Washington en 1987, dijo que «en un solo árbol de Perú identifiqué cuarenta y tres especies de hormigas, aproximadamente la misma cantidad que en toda la superficie de las Islas Británicas».

Lo mismo es válido para los entusiastas de los pájaros y de los árboles. Por ejemplo, el biólogo Peter Ashton, de Harvard, contó las especies arbóreas que había en diez hectáreas de bosque en Borneo y sumó setecientas. La misma cantidad de especies arbóreas que en toda América del Norte. Por lo que se refiere a las aves terrestres, el recuento de especies desde Alaska hasta los trópicos americanos es también espectacular, ya que pasan de veinte a seiscientas. George Stevens, un estudioso de la ecología que ha pasado algún tiempo en estas regiones, resumió la diferencia tal como se ve a simple vista: «Cuando se viaja por Alaska, llama la atención lo biológicamente aburrida que es. Es verdad, su geología es fascinante, pero hay monotonía en la fauna y la flora, se esté donde se esté. Pero en Costa Rica, aunque las diferencias del terreno sean mínimas, las de los hábitats son enormes».[70]

Una y otra vez, la pauta del gradiente de especies aparece reciamente dibujada en el ámbito terrestre. Hasta hace poco no había más que indicios sobre cómo podía ser en el ámbito marino, que es mucho menos accesible al ojo del ecólogo, en particular cuando se trata de la vida de las zonas profundas. Consideradas antaño una especie de desierto biológico, hoy se sabe que en las profundidades marinas hay un gigantesco abanico de formas de vida. Y desde que se descubrieron, en los años setenta, ciertas criaturas que vivían de la energía procedente de las surgencias térmicas vinculadas a la actividad volcánica de la tectónica de placas, algunas de estas criaturas han pasado

a ser las más raras que se conocen.

La imagen que tenemos últimamente de la vida subacuática es asombrosamente parecida a la terrestre, según se confirmó en un magno estudio realizado a fines de 1993 por un equipo de investigadores de Estados Unidos, Escocia y Australia. La diversidad más alta está concentrada alrededor del ecuador, y la riqueza mengua conforme se mira bajo el mar a latitudes superiores. «Los gradientes latitudinales de diversidad fueron inesperados», dijeron los investigadores, «porque se suponía que los gradientes ambientales que trazan las pautas a gran escala en los entornos de superficie no podían afectar a las comunidades que viven a grandes profundidades.»[71] Las profundidades marinas se han considerado siempre reiterativas y monótonas, ecológicamente hablando, en todas las latitudes, y de aquí la suposición de que la diferencia de diversidad entre latitudes diferentes tenía que ser pequeña. Los investigadores señalaron certeramente que el hallazgo tiene consecuencias para la conservación semejantes a las de la destrucción de hábitats en el reino terrestre. Por ejemplo, las prospecciones mineras y petrolíferas y las operaciones de eliminación de residuos tendrán un impacto distinto en la diversidad biológica según se practiquen en aguas tropicales o en aguas árticas.

La afirmación de que el gradiente de especies en las profundidades marinas fue «inesperado» nos conduce al tema de lo que origina la pauta global y permite plantear por lo menos una suposición en principio razonable: el gradiente de la riqueza de especies está directamente en tierra, por ejemplo la temperatura y la luz. El sentido común nos dice que los hábitats de tierra tienen que ser muy distintos de los de las profundidades marinas, y lo son. Muchos hábitats de las profundidades son negros como la pez y las fluctuaciones de temperatura apenas se notan. No ocurre lo mismo en tierra. Salta a la vista que aquí opera un mecanismo básico que se manifiesta en ambientes muy distintos. El problema que se plantea a la hora de identificar el mecanismo que produce esta pauta no es la falta de hipótesis, sino el exceso. Con el paso de los años se han presentado muchas explicaciones, a menudo mutuamente contradictorias. Estas contradicciones son una sana señal de lo lejos que estamos de sentirnos seguros para dar el tema por zanjado. Describiré algunas hipótesis.

Una que ha gozado de preferencia durante muchos años es la llamada teoría del tiempo, según la cual las condiciones tropicales han durado más que las de las regiones templadas. La causa está en las glaciaciones periódicas, que afectan mucho más a estas últimas. La biodiversidad ha tenido por tanto más tiempo para acumularse en los trópicos; eso se sugiere al menos. Sin embargo, en el mundo hay regiones que no han resultado demasiado afectadas por las glaciaciones, entre ellas las franjas más septentrionales del reino terrestre, y ahí no se aprecia la riqueza superior de especies que promete la teoría. La teoría del tiempo no se sostiene.

Tampoco la «hipótesis de la productividad», que también gozó de preferencia

durante mucho tiempo. Se diría que la naturaleza ha sido generosa con los trópicos: las temperaturas son agradables, abunda la luz y en muchas zonas hay agua de sobra. Sabemos por la experiencia diaria que las plantas prosperan en tales condiciones. Y como los animales dependen de las plantas, se puede sostener una elevada diversidad de plantas y animales. Todo esto es verdad, pero hay un hiato lógico en suponer que la alta productividad (es decir, una biomasa alta) se traduce necesariamente en una diversidad alta de especies. ¿Por qué tendría que haber muchas especies compartiendo este entorno de primera necesidad y no sólo unas cuantas nadando en la abundancia? (Los bosques de coníferas del norte sostienen una biomasa tremenda, pero pocas especies; los prados pueden ser bajos en biomasa, pero altos en cantidad de especies.) El Punto flaco de la teoría es que no se ve ninguna conexión entre la productividad alta y la generación de muchas especies.

Adviértase que, si bien la hipótesis del tiempo no busca en los trópicos propiedades evolutivas especiales, sólo tiempo adicional para la acumulación de especies, la hipótesis de la productividad sí las propone. Es como decir que en los trópicos hay algo que estimula la especiación a un ritmo superior al de las regiones templadas. Cuando paseamos por la sabana o por una densa pluvisilva nos sentimos en el centro de un caleidoscopio de especies, una riqueza de vida a todos los niveles, como los modelos fractales, que parece expresar la creatividad evolutiva. La suposición de que los trópicos alimentan el flujo de la vida, produciendo «un sinfín de formas bellísimas» a toda velocidad, parece acertada. Pero hay otra explicación: los trópicos podrían ser sólo un entorno más misericordioso que condena a las especies a extinguirse con menos frecuencia que en latitudes superiores. También para el sentido común resulta atractiva; los animales y las plantas de latitudes altas tienen que soportar inviernos crudos, en los que pueden crecer los índices de mortalidad. Las poblaciones debilitadas por la reducción local de su contingente pueden extinguirse durante un año particularmente hostil. La lucha por la existencia no parece ser más enconada a latitudes superiores, donde hay pronunciadas fluctuaciones estacionales.

Hasta hace poco no se podía decir con seguridad si la acumulación de la diversidad tropical es fruto de una extraordinaria innovación evolutiva o de un moderado índice de extinciones. En 1993, David Jablonski abordó el problema de los estudiosos de la ecología recurriendo al registro fósil. Argumentó que si en él hay más constancia de primeras manifestaciones de especies nuevas en las regiones tropicales que en las regiones templadas, el problema entonces está resuelto. Seleccionó el registro fósil de las especies marinas invertebradas desde el comienzo del Mesozoico, hace unos 225 millones de años, para zanjar la cuestión, y vio claros indicios de que en los trópicos había una cantidad superior de primeras manifestaciones. «Es un indicio directo de que las regiones tropicales han sido una

fuente principal de novedades evolutivas», escribió en *Nature* en julio del año citado, «y no sólo un refugio que ha acumulado diversidad debido a sus bajos índices de extinción».[72] Este importante resultado perfiló mejor la problemática de los biólogos: lo que haya de especial en los trópicos fomenta efectivamente la innovación evolutiva.

En la actualidad, los biólogos coinciden en que la aparición de especies nuevas se produce, entre otras cosas, en virtud de lo que ellos llaman especiación alopátrica. Esto quiere decir, sencillamente, que las poblaciones de una especie existente acaban aislándose por el medio que sea y que en un tiempo relativamente breve (unos cuantos miles de años) acumulan suficientes diferencias genéticas y adaptaciones para ser especies filiales independientes. (Es el meollo de la hipótesis de Elisabeth Vrba sobre la renovación pulsante, que ya expliqué antes.) ¿Cómo pueden las condiciones ambientales de los trópicos fomentar la especiación alopátrica? Se han adelantado dos sugerencias y describiré ambas.

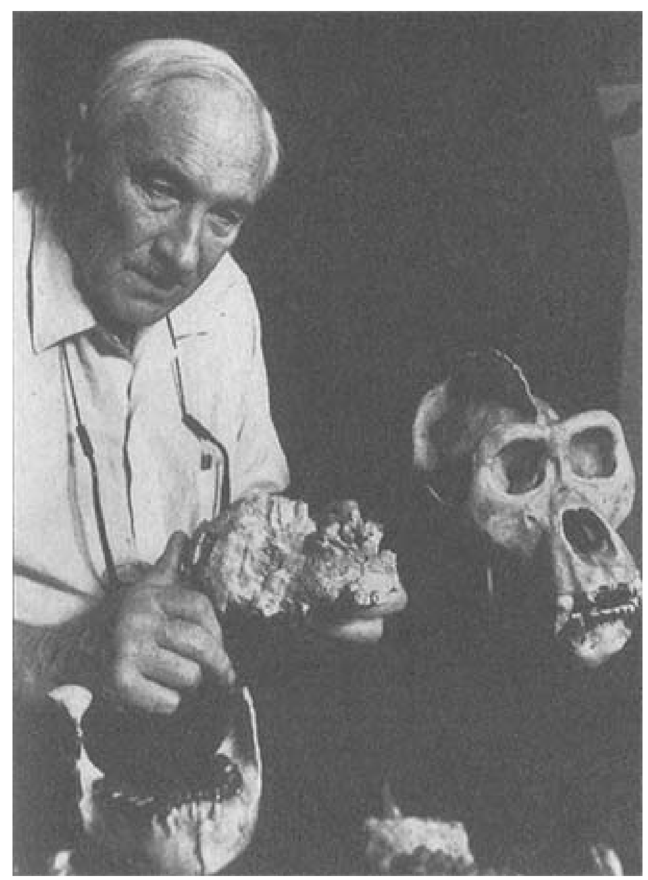
Antes, sin embargo, quisiera señalar que sería ingenuo imaginar que los trópicos son un cinturón de hábitats uniformemente fértiles que producen innovaciones evolutivas a un ritmo superior que los de las latitudes templadas. Los biólogos se han dado cuenta de que hay diferencias en el potencial de los hábitats para sostener las mismas especies, y así, por ejemplo, se puede ver que la población de un hábitat florece y se expande mientras que en el hábitat contiguo se marchita. Sin embargo, como los animales y las plantas (por la dispersión de la simiente) son móviles, los individuos del primer hábitat podrían emigrar al segundo, generando en ambos poblaciones más bien uniformes. Estos dos hábitats se denominan, respectivamente, fuentes y sumideros, por motivos evidentes. También es posible que haya hábitats fuente y sumidero en la producción de especies, y así, por ejemplo, una franja de pluvisilva podría ser en realidad un mosaico de hábitats con distinto potencial para fomentar la especiación.

Para muchos biólogos, este potencial deriva de la estabilidad ambiental de los hábitats tropicales. «Cuando el clima es más estable, es probable que sea también más estable el suministro de recursos», dice el ecólogo Wallace Arthur, del Politécnico de Sunderland (Inglaterra). «En consecuencia, las especies pueden permitirse el lujo de ser más quisquillosas con la comida, de tener nichos alimentarios estrechos, y seguir vivas.»[73] La estrechez de los nichos alimentarios anima a estas especies especializadas a vivir en ámbitos geográficos limitados, donde están los recursos alimentarios necesarios. Esto no sólo significa que es probable que en un área dada vivan muchas más especies, sino que además se fomenta la especiación. El carácter uniforme de los climas tropicales permite sobrevivir a las poblaciones pequeñas, incluso en los límites de su jurisdicción, sugiere Arthur, mientras que en las latitudes septentrionales, más inhóspitas, es más probable que tales poblaciones desaparezcan;

es también menos probable por tanto que se originen allí nuevas especies. En este argumento, la estabilidad se considera el motor de la evolución y además la aportadera de entornos en que pueden coexistir muchas especies. ¿Es esto correcto?

No, de acuerdo con una hipótesis desarrollada posteriormente según la cual el motor de la evolución es la inestabilidad. Durante los años setenta y principios de los ochenta, los ecólogos evolucionistas estuvieron enfrascados en una reñida polémica sobre las fuerzas que articulan la estructura de la comunidad. Al comienzo de la polémica, la verdad convencional era que la competencia entre especies determinaba la composición de las comunidades, en particular qué especies podían coexistir con otras. En menos de una década, la competencia, aunque no desechada como factor articulador de la estructura de las comunidades, había bajado muchos puntos. El ecólogo Joseph Connell, de la Universidad de California-Santa Cruz, influyó en este cambio. Convencido partidario de la competencia, fue a Australia para analizar las comunidades de arrecife y la naturaleza se encargó de modificar sus concepciones: un huracán barrió la zona donde estaba investigando y se llevó una sustanciosa parte de la comunidad. Para Connell fue una sana demostración de que en el mundo natural hay otras fuerzas de importancia aparte de la competencia. Aunque un huracán es más bien una forma espectacular e insólita de perturbación ambiental, hay desórdenes menores que son más habituales. También son más creativos, aunque de manera indirecta.

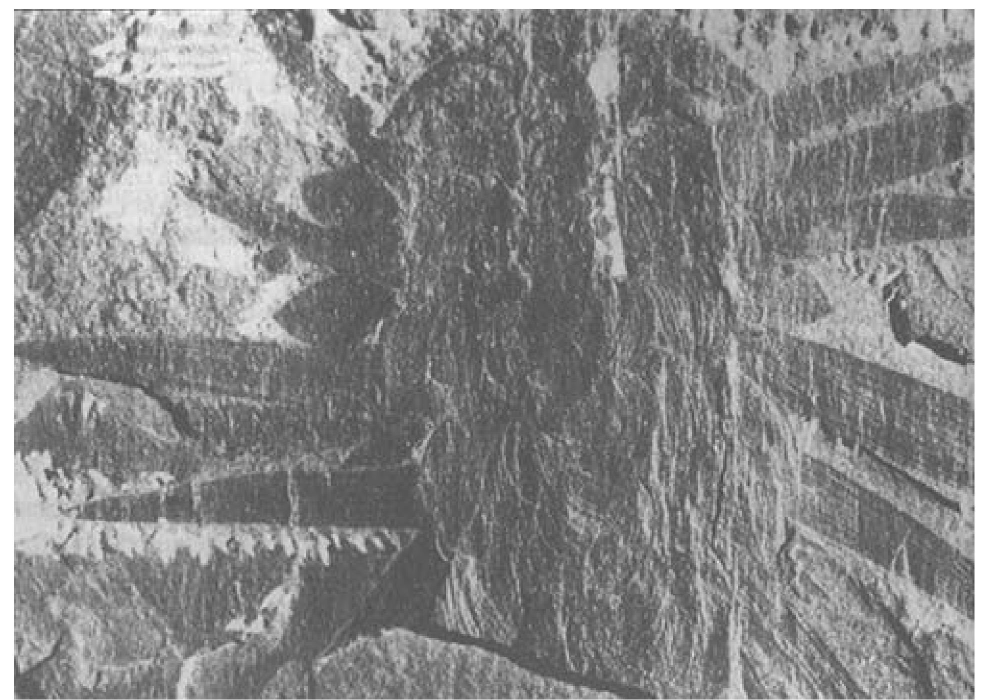
Las comunidades inmunes a los desórdenes pueden acabar pronto dominadas por unas cuantas especies; sin embargo, fuércese la comunidad, por ejemplo abriendo agujeros en la cubierta forestal, y podrán integrarse otras especies. Extrapolando el fenómeno, la repetición de forzamientos de esta naturaleza podría potenciar la evolución de más especies. Esto puede parecer contrario al sentido común. Es más fácil imaginar, como cuna de la evolución, un ambiente benigno y estable que alimenta a las especies en formación en su etapa más vulnerable. Pero la realidad nos dice con insistencia creciente que el forzamiento y la inestabilidad son la comadrona de la evolución.



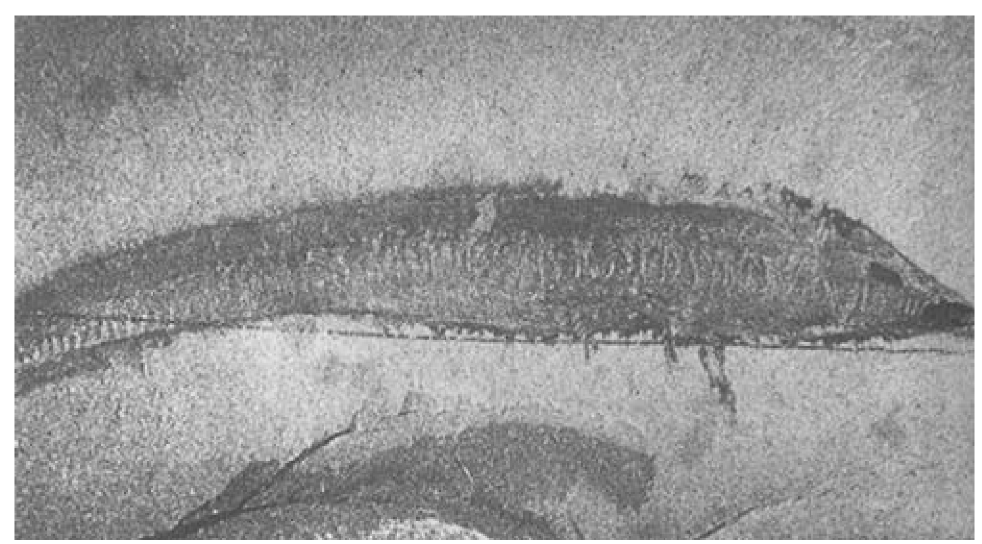
Louis Leakey con un cráneo fósil de *Homo habilis* encontrado en la garganta de Olduvai. En primer término, una mandíbula de Zinjanthropus; a la derecha, un cráneo de gorila. (Copyright L. S. B. Leakey Foundation).



La familia Leakey en los años cincuenta. De izquierda a derecha: Richard, Mary, Philip, Louis y Jonathan, con los omnipresentes dálmatas. (Copyright L. S. B. Leakey Foundation).



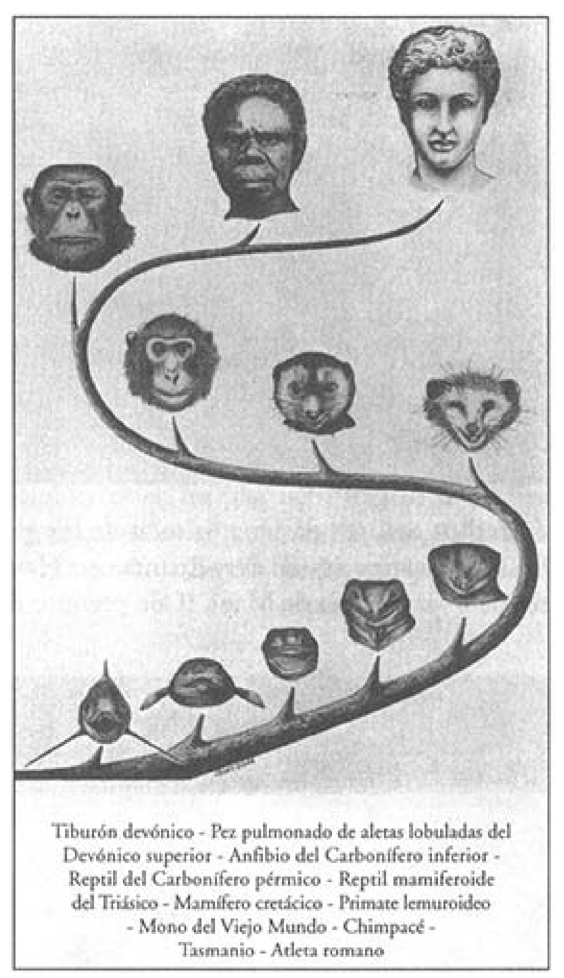
Wiwaxia corrugata, una de las enigmáticas criaturas de Burgess Shale, medía dos centímetros y medio de longitud. Walcott la consideró antepasada de los gusanos marinos o poliquetos. (Simon Conway Morris, Universidad de Cambridge).



Pikaia gracilens, el cordado más antiguo que se conoce, antepasado de todos los vertebrados, incluidos los humanos los humanos, era una criatura cintiforme que medía cinco centímetros de longitud. Walcott lo bautizó con el nombre del monte Pika, cercano a los yacimientos de Burgess Shale, y lo consideró un gusano marino o poliqueto. (Simon Conway Morris, Universidad de Cambridge).

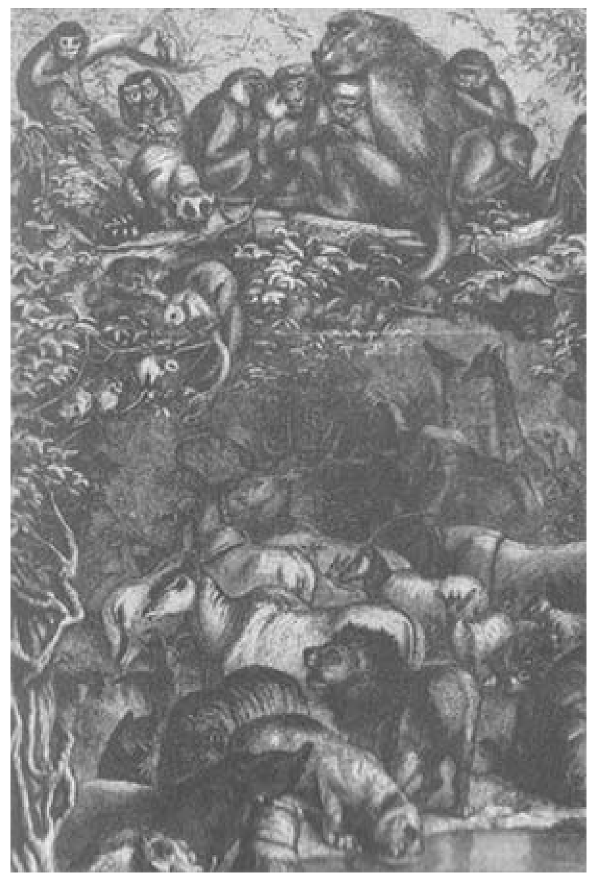


Emma Mbua, conservadora de los fósiles de homínidos del Museo Nacional de Nairobi, al lado del esqueleto del joven de Turkana (1,6 millones de años), miembro de la especie *Homo erectus* fallecido a los nueve años de edad. Emma mide 1,62 m. (Gentileza de Alan Walker).

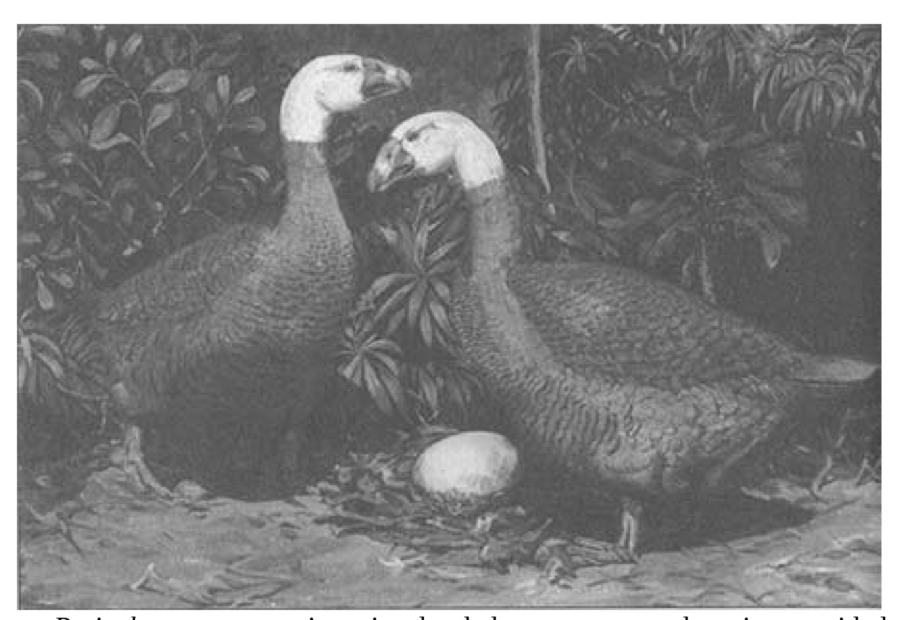


Tiburón devónico - Pez pulmonado de aletas lobuladas del Devónico superior - Anfibio del Carbonífero inferior - Reptil del Carbonífero pérmico - Reptil mamiferoide del Triásico - Mamífero cretácico - Primate lemuroideo - Mono del Viejo Mundo - Chimpacé - Tasmanio - Atleta romano

En muchos esquemas evolutivos antiguos vemos un progreso uniforme hacia formas más avanzadas que culmina en los humanos. Este procede del libro de William K. Gregory *Our face from Fish to Man* (Nuestra cara del pez al hombre), que se publicó en 1929. (Copyright 1929, G. P. Putnams & Sons).



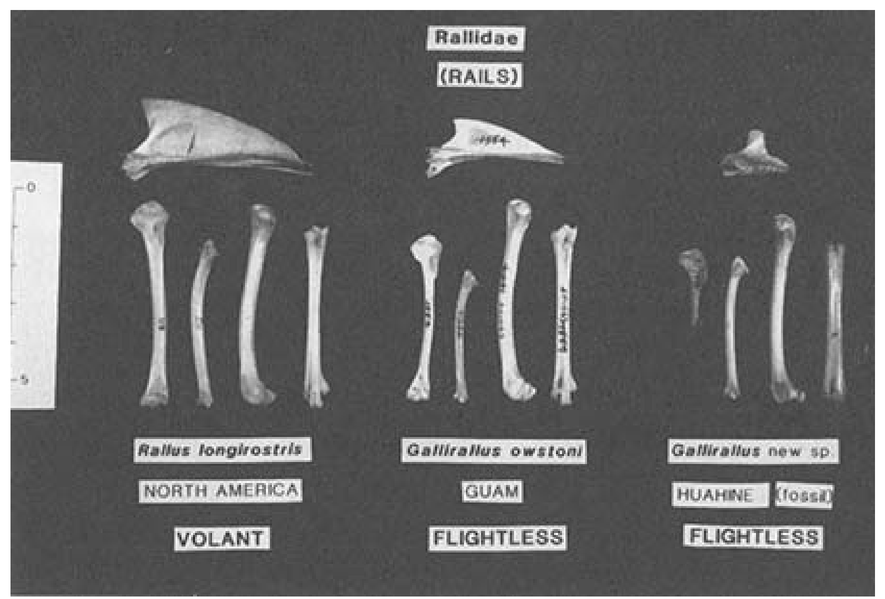
Aunque son los mamíferos los que acaparan mayor protagonismo en la actual diversidad de la vida, en conjunto sólo suman unas cuatro mil especies.



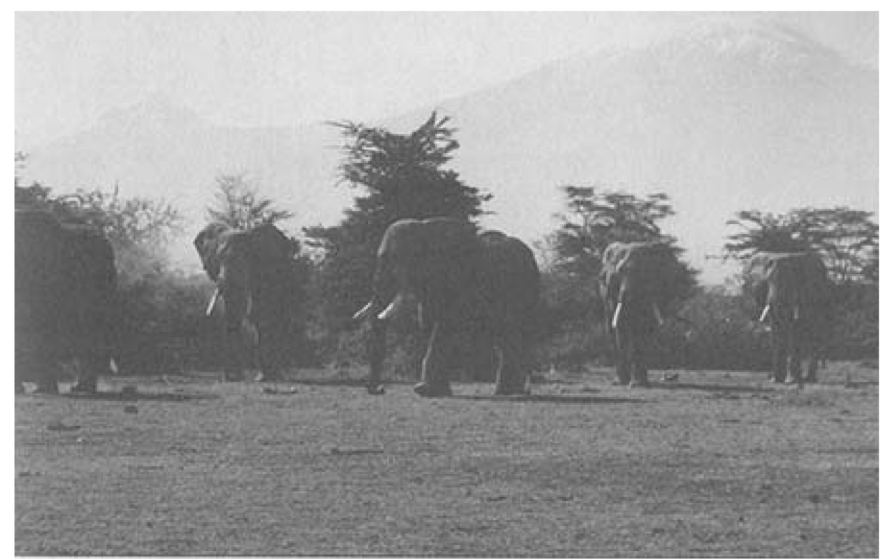
Ptaiochen pau, un pariente insular de los gansos, grande y sin capacidad para volar, figura entre las muchas especies de aves extintas en Hawai. Se encontraron huesos del ave en cuevas tubulares de lava en la isla de Maui. (Con permiso de Julian Hume/Smithsonian Institution).



Las tortugas gigantes de las Galápagos estuvieron a punto de extinguirse, primero a causa de los balleneros del siglo XIX, que las cazaban para comérselas, y luego a consecuencia de las costumbres predatorias de las ratas, que se introdujeron en el archipiélago y se comían los huevos. (Gentileza de Roger Lewin).



Gracias a las decenas de millares de huesos de ave descubiertos en las islas del Pacífico, se sabe ya que una proporción importante de especies se extinguió cuando las colonizaron los polinesios. Hasta hace poco se creía que la biota de las islas era virgen hasta la llegada de los europeos. (Gentileza de David Steadman).



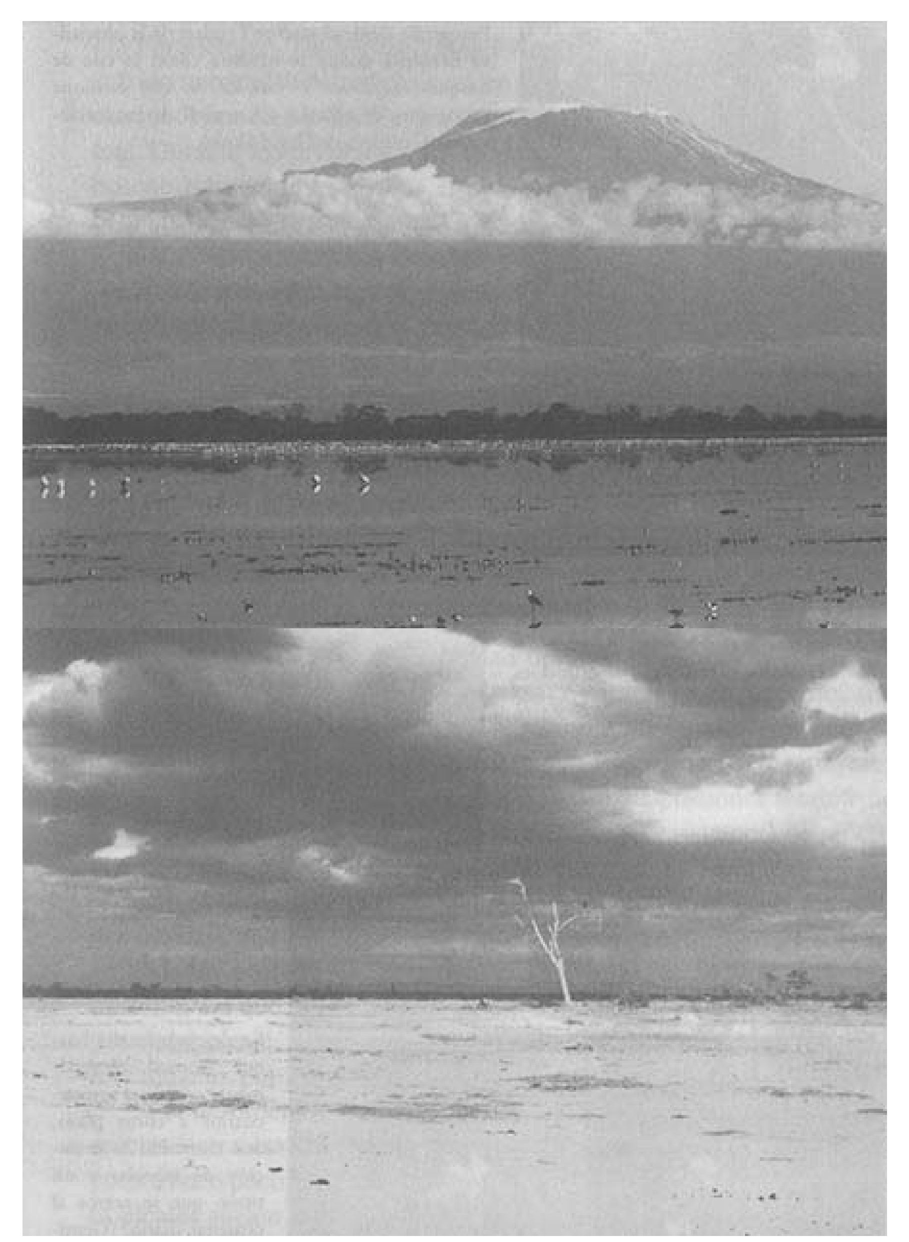
La abundancia de elefantes en el Parque Nacional Amboseli causaba antes serios daños en el hábitat. Pero la estabilidad de los hábitats depende de muchos factores y Amboseli no es una excepción. (Gentileza de Roger Lewin).



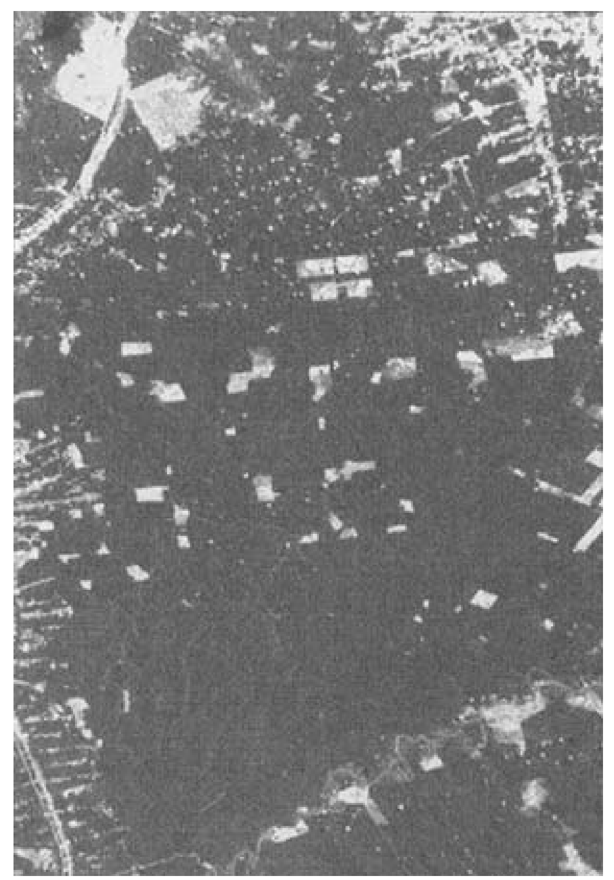
Elefante abatido por los cazadores furtivos y con los colmillos arrancados a hachazos. Escenas como ésta eran habituales en Kenia. Ilegalizar el comercio internacional de marfil fue una medida importante para poner fin a la matanza. (Gentileza de Joyce Poole).



A primera hora de la tarde del 18 de julio de 1989, Daniel Arap Moi, jefe de Estado de Kenia, aplicó una antorcha a dos mil quinientos colmillos de elefantes bañados en gasolina, comenzando así la incineración de un marfil valorado en más de tres millones de dólares. Unos 850 millones de personas en todo el mundo supieron de la costosa conflagración por televisión y la prensa. Con el calor de la hoguera a la espalda, Leakey fue entrevistado en directo para el programa de la ABC *Good Morning America*. Su mensaje fue sencillo: no compren marfil o se extinguirán los elefantes. (Cortesía de Joyce Poole).



El hábitat de Amboseli experimenta cambios cíclicos espectaculares y unas veces está empapado y otras seco como el desierto. (Cortesía de Joyce Poole).



Fotografía desde el satélite Landsat de la pluvisilva brasileña donde se muestra cómo la tala de bosques fragmenta el hábitat, lo que ocasiona extinciones de especies a un nivel desproporcionado. (Gentileza de David Skole).



Los islotes forestales del Brasil, como los que se ven en la foto, se están estudiando para determinar la extinción en hábitats de tamaño desigual. Usualmente, cuanto menor es el hábitat, más rápido y extensivo es el proceso de extinción. (Gentileza de Thomas Lovejoy/Smithsonian Institution).



La destrucción del bosque tropical, generalmente con fines agropecuarios a corto plazo, está causando la extinción de especies a un ritmo que se acerca al centenar diario. (Gentileza de Thomas Lovejoy/Smithsonian Institution).

Por ejemplo, las pluvisilvas del Amazonas, ricas en especies, han sufrido tremendas perturbaciones, en particular a fines de la última glaciación, hace diez mil años, y a comienzos de la más estable época actual. Durante los primeros y helados tiempos no había ningún tapiz de bosque transcontinental. Por el contrario, había bosques aislados en hábitats favorables, microclimas que protegían a las especies adaptadas a climas cálidos. Hay una duradera y continua polémica, aún sin resolver, sobre cómo fomenta la especiación esta fragmentación. Una idea es que en los fragmentos o refugios forestales las poblaciones de una especie estaban aisladas y, por tanto, se alejaban genéticamente de otras poblaciones parecidas que estaban en otros refugios. La idea encaja muy bien en la hipótesis de la especiación alopátrica. Pero cuesta encontrar rastros convincentes de estos refugios. Puede que el motor de la evolución fuese el sencillo agente de la perturbación ambiental, un ambiente creativo en equilibrio entre la estabilidad total y la inestabilidad total, el caos. (En las pluvisilvas amazónicas la gran civilización maya contribuyó a esta perturbación talando mucho bosque en determinadas áreas.)

La creatividad de la naturaleza en la franja situada entre la estabilidad y el caos puede verse también en los mares, donde se detecta una curiosa pauta. La gran biodiversidad del mundo marino se encuentra en el fondo del mar. Las comunidades costeras, por el contrario, son relativamente estériles. En las dos regiones aparecen especies nuevas, con más abundancia en el fondo del mar. Y, sin embargo, las mayores innovaciones evolutivas (especies nuevas con adaptaciones totalmente nuevas y no simples variaciones sobre temas ya existentes) se producen más a menudo en las comunidades costeras. El fenómeno parece ser real; es decir, resultado de una innovación mayor en las comunidades costeras que aguas adentro, y no la supervivencia selectiva de singularidades evolutivas. El motivo, sin embargo, es hasta

la fecha un misterio. Lo que puede decirse de las comunidades costeras es que, a causa del oleaje, sufren más desórdenes que las del fondo del mar. El forzamiento, por lo visto, estimula la innovación evolutiva.

Si el desorden es la comadrona de la evolución, ¿por qué hay diferencias entre las regiones tropicales y templadas? Un motivo, propuesto hace poco por George Stevens, es que mientras que las especies tropicales suelen estar especializadas, adaptadas a estrechos dominios ambientales, las templadas, por sus propias características, tienen que adaptarse con un criterio más amplio, tolerante con la fluctuación de las temperaturas y de la luz de una estación a otra. Las especies tropicales son por tanto más sensibles al desorden, que por otro lado prepara oportunidades evolutivas de especiación; las especies templadas son mucho más tolerantes y, por consiguiente, son empujadas al filo de la creatividad evolutiva con menos frecuencia.

¿Y en el fondo del mar, donde se produce el mismo gradiente latitudinal de especies que en tierra firme? Se suele considerar el fondo marino como una región de uniformidad inagotable, un lugar con pocos cambios, dado que está al margen de las modificaciones ambientales. Si es verdad, la hipótesis del desorden se derrumba. Pero, como dicen los ecólogos John Gage y Robert May en su comentario al hallazgo del gradiente de las especies submarinas, «es posible que, a fin de cuentas, el fondo de los mares no sea tan globalmente uniforme».[74] Es posible. A fin de cuentas, no hace mucho el fondo del mar se consideraba un desierto biológico y hoy, en cambio, se sabe que tiene un nivel de diversidad biológica que, en algunos lugares, rivaliza con el de las pluvisilvas tropicales.

Hemos visto, pues, que la pauta de la diversidad global es tan asombrosa como evidente. Y hemos visto también que, mientras genera «un sinfín de formas bellísimas», el proceso de la evolución va por caminos que todavía escapan a la comprensión de los biólogos.

La segunda pauta más importante de la biodiversidad global aparece cuando se comparan los reinos terrestre y marino. Entre la cantidad total de especies registradas hasta la fecha, menos del quince por ciento vive en los mares, sobre todo en el fondo o cerca del fondo; el resto vive en tierra. Como los mares ocupan casi las tres cuartas partes de la superficie del globo, este desequilibrio es abrumador. A simple vista, el reino terrestre parece sostener una diversidad mucho mayor que la del reino marino. Se produce aquí, sin embargo, una paradoja relacionada con el nivel de la jerarquía biológica en el que se comparan los dos reinos.

Hasta aquí hemos hablado de especies, que son el nivel inferior de la jerarquía biológica. Pero si hacemos la comparación al nivel de los tipos, la imagen es muy

diferente de la que arroja la diversidad de especies. De los treinta y tres tipos animales, en los mares hay representantes de treinta y dos, mientras que en tierra sólo hay doce. Además, el 64 por ciento de los tipos vive únicamente en el reino marino, mientras que sólo hay un tres por ciento exclusivamente terrestre. (El equilibrio hay que buscarlo tanto en tierra como en el mar.) Desde este punto de vista, los mares sostienen una diversidad de formas vivas mucho mayor que los hábitats terrestres. En otras palabras, en el mar se encuentran muchos temas con pocas variaciones, mientras que en tierra vemos muchas variaciones sobre unos cuantos temas.

Al igual que en el caso del gradiante latitudinal de especies, son legión las hipótesis que pretenden explicar las diferencias de diversidad entre el mar y la tierra al nivel del tipo y de la especie. Incluso a un nivel básico cuesta a veces responder a las preguntas más sencillas, por ejemplo por qué los insectos dominan la vida terrestre y en cambio hay muy pocos en el mar.

El motivo más inmediato de que haya más tipos morfológicos en el mar es que la vida pluricelular comenzó allí, con la explosión cámbrica. Todos los tipos actuales aparecieron durante aquel acontecimiento o muy poco después, y mucho antes de que los primeros organismos se atrevieran a adentrarse en tierra. Todos los tipos actuales habrían tenido por tanto la oportunidad de dejar descendientes en los mares, mientras que sólo los que desarrollaron adaptaciones terrestres tuvieron la misma oportunidad en tierra. Esto no explica por qué en el reino marino hay muchas menos variantes de cada plan estructural que en tierra firme; a fin de cuentas, la vida marina llevaba al principio una ventaja de cien millones de años a la vida en tierra. En los dos ámbitos tiene que haber algo distinto que dé más energía al motor de la evolución en un lugar.

Si los fondos marinos fueran las gigantescas llanuras de monotonía que hasta hace poco se venía creyendo, se explicaría su menor diversidad de especies. Un ambiente variado (en topografía y clima) y que cambie en periodos relativamente breves estimula la evolución de especies. Pero el ambiente del fondo marino, por diferente que pueda ser en algunos aspectos importantes, es probablemente mucho más heterogéneo de lo que se ha supuesto.

Los grandes bosques tropicales y, hasta hace poco, las zonas templadas presentan una complejidad espacial que, por lo que sabemos, no es habitual en los mares (excepto en los arrecifes de coral, que sostienen una elevada diversidad de especies). Aunque admite que esto puede desempeñar un papel, Robert May, que dirigió un estudio del problema, aún se muestra reticente: «Me cuesta… aceptar que esto pueda explicar la proporción 85:15 de diferencia entre el mar y la tierra en cuanto a cantidad de especies».[75] Señala asimismo una curiosa diferencia entre los bosques tropicales y los arrecifes de coral, que a menudo se consideran equivalentes en sus respectivos ámbitos. «En el arrecife de coral hay una palpable abundancia de vida animal… por el contrario, en el bosque tropical rara vez se ven vertebrados y ni siquiera los

invertebrados son tan palpables.»[76] El porqué de esta diferencia nadie lo sabe.

Se han formulado muchas más hipótesis para explicar la diferencia tierra-mar en cuanto a diversidad de especies; la que quizá sea más prometedora tiene que ver con el tamaño y radio de acción de las especies. Menores por término medio que las especies terrestres, las marinas disponen de un radio geográfico más grande. Y un radio mayor quiere decir, por lo general, menos especies en total. A quienes sostienen un punto de vista vinculado a la ecología evolucionista esta explicación les parece prometedora, pero es, todos lo saben, especulación teórica.

De las pautas de la diversidad global pasaré ahora a la composición de la diversidad en cuestión. La pregunta es: ¿cuántas especies hay actualmente en el mundo?

Para esta sencilla pregunta Robert May tiene una sencilla respuesta: «No sabemos ni siquiera en orden de magnitud con cuántas especies compartimos el globo».[77] Casi todas las estimaciones están entre cinco millones y cincuenta millones y algunas suben hasta cien millones. ¿El motivo de esta incertidumbre? Pocos biólogos se han atrevido a buscar siquiera una respuesta y los que lo han hecho han tenido problemas para encontrar una digna de confianza.

Es ciertamente notable que, en este mundo de nuestros días, obsesionados como estamos por medir y calcular cosas, seamos tan inconcretos en lo que se refiere a la naturaleza, a la que estamos íntimamente vinculados y de la que en última instancia dependemos. Sabemos aproximadamente cuántas estrellas hay en nuestra galaxia, la Vía Láctea: unos cien mil millones. Sabemos cuántas bases nucleotídicas constituyen el material genético humano: tres mil millones. Y podemos calcular con una aproximación de varias horas cuándo chocará un cometa con Júpiter, como ocurrió con el que chocó a las cuatro de la tarde (hora de la costa oriental estadounidense) del 16 de julio de 1994. Y sin embargo no podemos atribuir una cantidad segura a la diversidad de especies actuales. No por falta de conocimientos, sino de dedicación. Los gobiernos han invertido cientos de millones de dólares en la observación sistemática de las estrellas, pero sólo una ínfima fracción de esa cantidad en la observación sistemática de la naturaleza de nuestra Tierra.

La búsqueda del orden natural comenzó básicamente con Aristóteles, pero tuvieron que pasar casi dos milenios para que la historia natural pasara a ser una disciplina respetada de la ciencia occidental. El principal cometido de la nueva ciencia fue la clasificación de los animales y las plantas, al principio para desglosar los resultados de la actividad divina. El sistema moderno de clasificación lo estableció Linneo en su *Systema naturae*, a mediados del siglo XVIII. Registró unas nueve mil especies vegetales y animales mediante un sistema que ponía de manifiesto

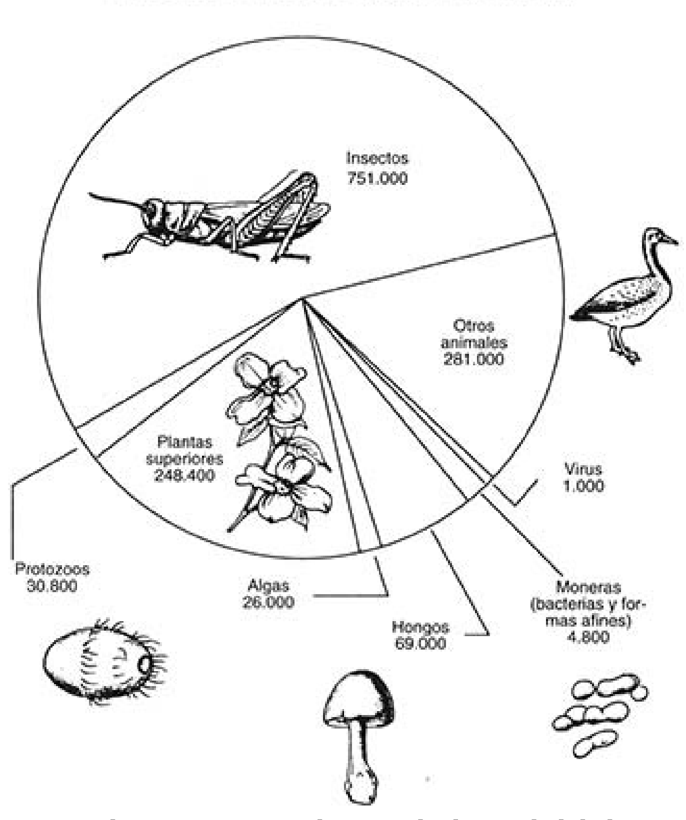
su relación (en el sentido de la creación, no de la historia). Esta primera incursión, pionera aunque modesta, en la observación sistemática del mundo natural se produjo un siglo después de que Isaac Newton describiera las leyes de la gravedad en que se basaron los cálculos del reciente choque del cometa contra Júpiter.

Como es lógico, la cantidad de especies registradas ha aumentado mucho desde la época de Linneo, y en la actualidad hay clasificadas alrededor de un millón cuatrocientas mil. Digo «alrededor de» porque no hay ningún almacén central donde figuren todas las especies descritas, de modo que la cifra es necesariamente una estimación. No deja de ser paradójico; hay un almacén central para las cadenas de ADN que se producen en los laboratorios de biología molecular de todo el mundo, pero no para los organismos de los que se ha obtenido el material genético. El ochenta y cinco por ciento de las especies registradas vive en el dominio terrestre, y la mayor parte, unas 850.000, son artrópodos, es decir, insectos, arácnidos y crustáceos. Casi todas las especies de artrópodos son insectos y casi la mitad de los insectos son escarabajos, hecho que, según se dice, inspiró un célebre epigrama al biólogo británico J. B. S. Haldane. Cierto día le preguntaron unos religiosos si estudiar la naturaleza le había descubierto algo acerca de Dios, y dicen que Haldane replicó que le había dado a entender que Dios sentía «una inmoderada debilidad por los escarabajos». Sin duda apócrifa, la anécdota sin embargo es pertinente y, si son de fiar los últimos estudios, puede que subestime la realidad.

Casi todas las 300.000 especies vegetales que conocemos son plantas con flor. (No creo que sea casual la abundancia de insectos por un lado y de plantas fanerógamas por el otro, ya que han progresado y evolucionado juntos durante los últimos centenares de millones de años.) Se han identificado unas sesenta y nueve mil especies de hongos y aproximadamente la misma cantidad de organismos unicelulares. Entre los últimos se han descrito cinco mil especies de bacterias. El espectro que más nos interesa, el de los vertebrados, abarca un total de cuarenta mil especies, de las que cuatro mil son mamíferos, nueve mil son aves y el resto reptiles, anfibios y peces. En el caso de que a alguien le dé por imaginar que cuatro mil especies mamíferas no están nada mal en comparación con las bacterias, le recomiendo que se detenga antes de henchirse de orgullo. Hace poco, un grupo investigador noruego analizó el contenido bacteriano de un gramo de suelo de un hayedo y una cantidad idéntica de sedimento de la costa noruega. En ambos casos el grupo identificó hasta cinco mil especies, y sin que las muestras se tocaran. Salta a la vista que las cinco mil especies de bacterias registradas hasta el momento no son sino una minúscula muestra de la realidad.

Además de subestimar mucho la cantidad real de especies que hay en el mundo, la lista de las conocidas es parcial en algunos aspectos. Primero, refleja el nada antinatural interés humano por las criaturas cubiertas de pelo o plumas. Por ejemplo,

hay muchos más taxidermistas trabajando con aves y mamíferos que con insectos, nemátodos o bacterias. En consecuencia, aunque todos los años se descubren especies nuevas de aves y de mamíferos, son pocas, y la cantidad total de las que existen podría parecerse mucho a la que tenemos actualmente. Esto no es válido para el resto (la mayor parte, en realidad) de la naturaleza, como pone de manifiesto el ejemplo de las bacterias. Otra falta de imparcialidad es su concentración en las regiones templadas septentrionales del mundo, que es donde casi todos los taxónomos (los que clasifican los organismos) trabajan. El grueso de las especies se concentra en los trópicos y, sin embargo, por cada especie tropical que se conoce se conocen dos en las latitudes del norte.



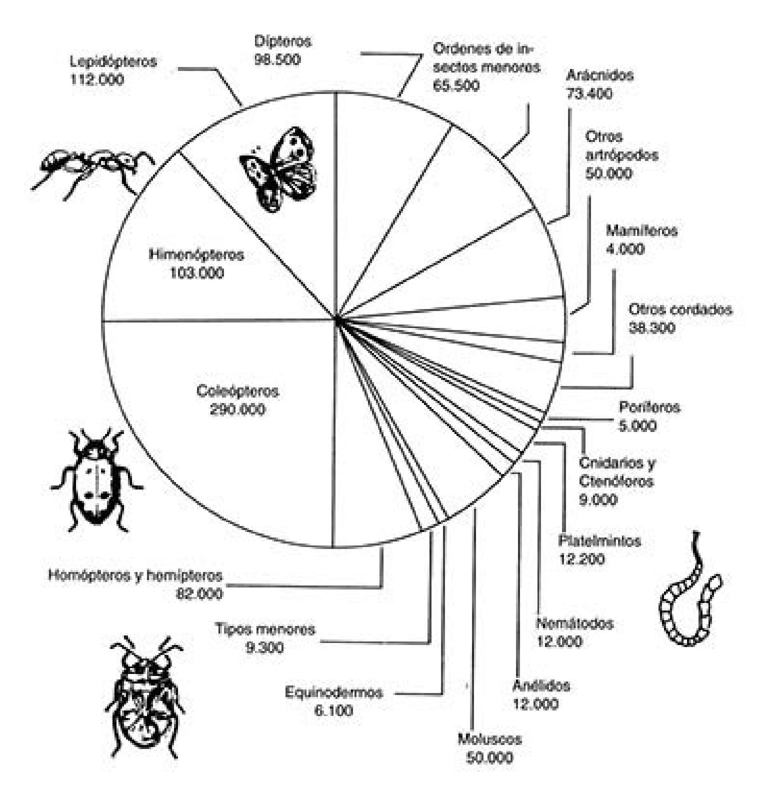
Los insectos y plantas superiores dominan la diversidad de los organismos vivos que se conocen hasta la fecha, pero aún quedan ejércitos enteros de especies por descubrir en grupos como las bacterias, los hongos y otros mal estudiados. La suma total se sitúa entre 10 millones y 100 millones de especies. (Reproducido por gentileza de la editorial de *The Diversity of Life*, de Edward O. Wilson, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, Copyright © 1992 by Edward O. Wilson.)

El ecólogo británico Carrington Williams llevó a cabo en su libro *Patterns in the Balance of Nature*, publicado en 1964, una de las primeras estimaciones científicas del número de especies de insectos. Llegó a la cifra de tres millones haciendo muestreos locales y extrapolando los resultados. Durante las dos décadas siguientes,

los biólogos de campo, por lo general trabajando cada uno por su cuenta, recogieron información de muchos hábitats, algunos inéditos, como el fondo marino. El resultado fue que la suma total de especies llegaba casi a los diez millones.

Más tarde, en uno de los más espectaculares episodios de la biología sistemática, Terry Erwin, del Instituto Smithsoniano, dijo en 1982 que probablemente había por lo menos treinta millones de especies de insectos, la mayoría en la techumbre de las pluvisilvas tropicales. Erwin hizo este cálculo contando la población de insectos de una amplia muestra de árboles de la pluvisilva panameña, trabajo que ejecutó echando insecticida en la techumbre y recogiendo los cadáveres conforme caían a tierra. Una auténtica hazaña que, aunque fue importante para la ciencia, pasó inadvertida durante algún tiempo. Como dijo Edward Wilson unos años después, «si los astrónomos descubrieran un planeta más allá de Plutón, la noticia saldría en primera plana en todo el mundo. No ocurre lo mismo cuando se descubre que el mundo vivo es más rico de lo que se sospechaba, una realidad que es de capital importancia para la humanidad».[78]

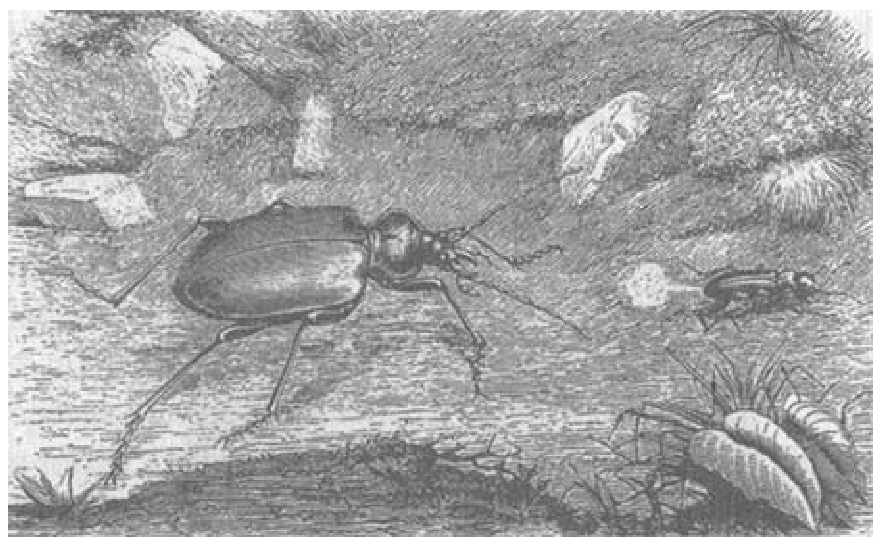
Desde el cálculo de Erwin ha aumentado el interés por el insoluble problema. Una vez más, no fue una operación coordinada, y la llevaron a cabo biólogos que trabajaban con independencia en su propio campo de investigación. Por ejemplo, David Hawksworth, del Instituto Micológico Internacional de Kew, Inglaterra, arguye que la estimación actual de 69.000 especies de hongos está veinte veces por debajo de la realidad. Demostró que por cada especie de planta vascular de los hábitats europeos hay unas seis especies de hongos; como hay unas 300.000 especies conocidas de plantas vasculares, hay sin duda alrededor de 1,8 millones de especies de hongos. Si se descubren más especies vegetales, su ya elevado número seguirá aumentando. El mismo cuadro presentan los nemátodos, sugiere Peter Hammonds, del Museo de Historia Natural de Londres. Se conocen unas 15.000 especies de gusanos. Parásitos omnipresentes en plantas y animales, o viviendo en libertad en agua dulce y salada, las especies de nemátodos, calcula Hammond, pueden rebasar los 300.000 en todo el mundo.



Entre los animales que conoce la ciencia, los insectos son los más numerosos. A causa de este desequilibrio, casi todas las especies animales viven en tierra; pero casi todos los tipos (equinodermos, etcétera), que son las unidades de clasificación más amplias, se encuentran en el mar. (Reproducido por gentileza de la editorial de *The Diversity of Life*, de Edward O. Wilson, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, Copyright © 1992 by Edward O. Wilson.)



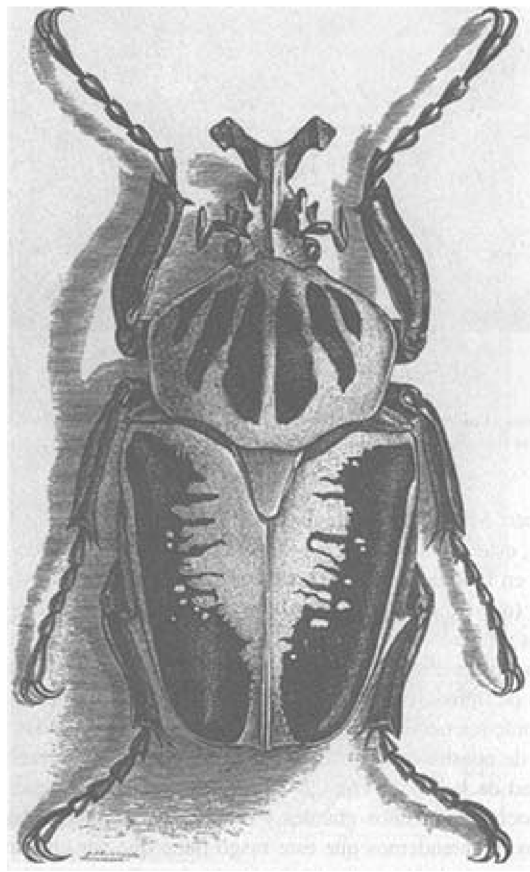
La migala avicularia matando un colibrí. De Sybille de Merian.



Un calosoma (*Calosoma inquisitor*) persiguiendo a un bombardero (*Brachinus crepitans*), que se bate en retirada.

Estas y otras estimaciones arrojan una suma total de especies próxima a los cincuenta millones, que incluso podría ser mayor. En lo que Robert May describe como argumento «frívolo pero no del todo ilógico», este estudioso calcula un total de cien millones de especies. Lo basa en la idea de que «por cada especie de artrópodo y de planta vascular (que forman la gran mayoría de especies registradas) hay por lo menos un nemátodo, un protozoo, una bacteria y un virus especializados en parasitaria».[79] Debería estar ya claro que, sea la suma total de especies de treinta, cincuenta o cien millones, casi toda la vida es tropical y prácticamente invisible. El

mundo de los vertebrados y plantas grandes de nuestra experiencia cotidiana no es sino una fracción de la diversidad de la vida. Vemos la forma de la diversidad, con relativamente pocos organismos grandes y relativamente muchos organismos pequeños, y entendemos que este rasgo tiene que ver en parte con el flujo de energía de las comunidades ecológicas. Pero no podemos, partiendo de los primeros principios, prever el alcance de la diversidad; no hay base teórica en la ecología ni en la biología evolucionista para decir que la Tierra, con su actual configuración continental, deba sostener un millón de especies, diez, treinta, cincuenta o cien.



El «gigante Goliat» (*Goliathus giganteus*)

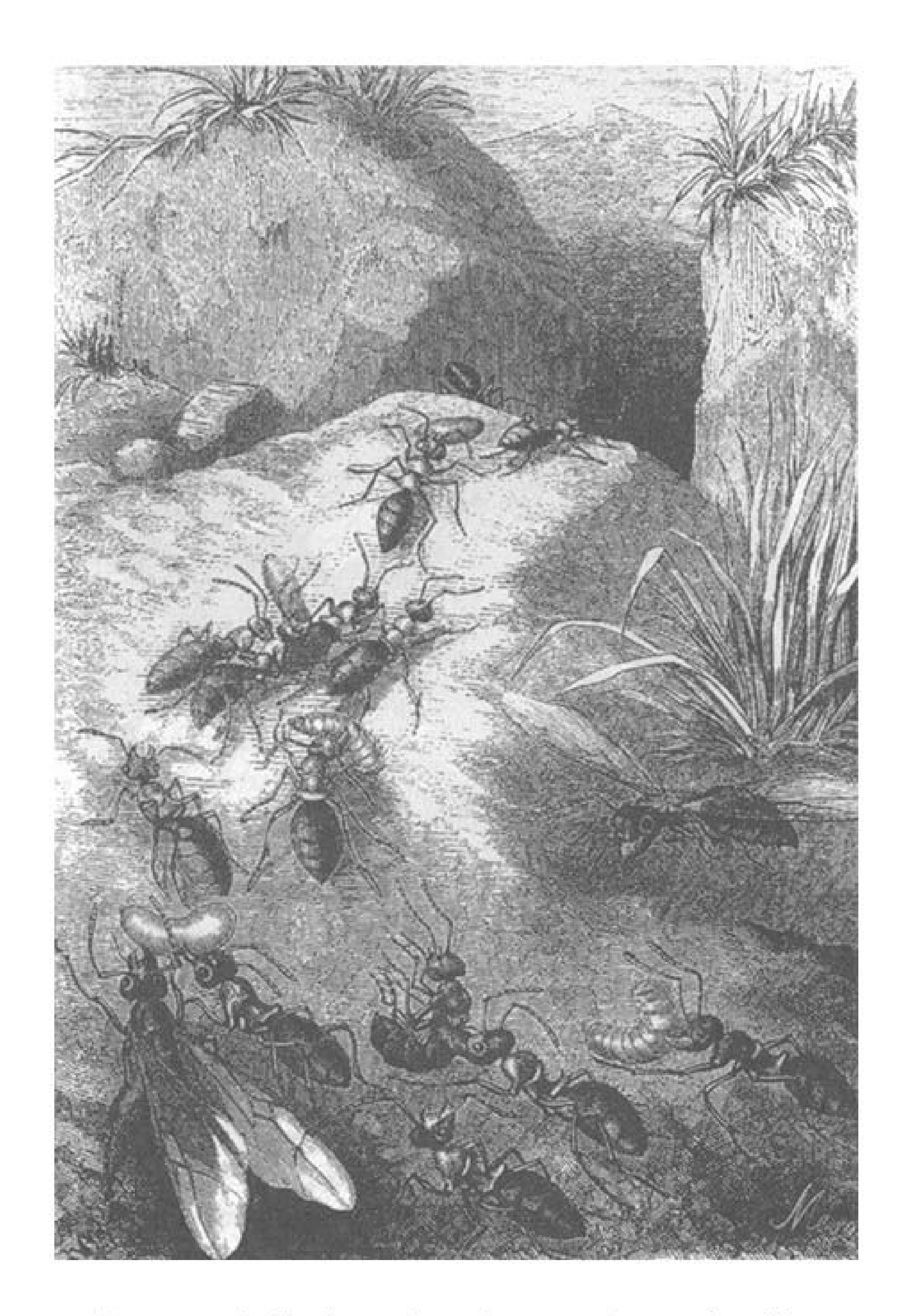
Falta exactitud en todas las cantidades que he venido dando a propósito de las especies porque cada una se basa en la extrapolación de una medición de campo, como si dijéramos. Algunos cálculos darán, inevitablemente, resultados falsos cuando la proporción entre especies (como la de los hongos respecto de las plantas) varíe en tales o cuales partes del mundo. Pero es la forma más eficaz de contar las especies. Los biólogos han tardado unos 230 años en identificar y describir tres cuartos de millón de insectos; si de verdad hay como mínimo treinta millones, como supone Erwin, los taxonomistas de insectos, trabajando al mismo ritmo que en el pasado, tienen todavía diez mil años de actividad por delante. Chilean Prance, director de los Jardines Botánicos de Kew, estima que para hacer la lista completa de las plantas de todo el continente americano, los taxónomos, trabajando siempre a ritmo histórico, tardarían cuatro siglos.

Estos taxónomos de insectos y plantas han hecho algo más que contar especies; también las han descrito. Cada ficha del catálogo contiene una forma de vida única, el legado de cientos de millones de años de evolución del que no somos más que una parte. Pero la cantidad de fichas es desoladoramente pequeña y las dificultades para aumentarla son enormes, habida cuenta de los recursos que la ciencia occidental ha invertido hasta el momento. Decir que, en palabras de May, «no sabemos ni siquiera en orden de magnitud con cuántas especies compartimos el globo» es un triste comentario sobre el valor que se da a la gran diversidad de nuestra Tierra.

¿Deberíamos, como ha dicho Edward Wilson, «dedicarnos exclusivamente a elaborar un catálogo completo de la vida en la Tierra»?[80] Una empresa así sería costosa, sin duda, pero mucho menos que recomponer el genoma humano, que al año consume 150 millones de dólares, o que construir una estación espacial, que cuesta en total unos 30.000 millones de dólares. Como director del Departamento de Conservación de la Fauna, que pasó a ser el Servicio de la Fauna de Kenia (Kenya Wildlife Service) casi un año después de incorporarme, supe, día tras día, lo que costaba conservar las especies, por lo general las más llamativas. Y entiendo que la inversión, por ejemplo, de 100 millones al año se agradecería en muchos países que se esfuerzan por conservar la fauna frente al continuo crecimiento de las poblaciones humanas. Pero el deseo de Wilson es válido: es digno de la ciencia y, mejor aún, es digno de la humanidad. Como culminación del proceso evolutivo, como especie sensible, tenemos el deber moral de conocer hasta donde podamos el «sinfín de formas bellísimas» con que compartimos esta Tierra.



Nido de la polla de agua, *Fulica chloropus* (Linneo). Del Museo de Ruán.



Regreso de las hormigas después de una batalla.

8
El valor de la diversidad

En la actualidad, cada vez que los ecólogos hablan de la diversidad biológica suelen sentirse obligados a dar cuenta de su valor. Hace un cuarto de siglo no existía esta obligación, pues pocas personas se molestaban entonces en hablar del tema. La cuestión de la diversidad ni siquiera se planteaba. Antes aún, a principios de siglo, el valor de la diversidad tampoco era un problema, pero por otras razones. El caleidoscopio de especies que constituye la diversidad biológica se consideraba parte integral de la vida. Los naturalistas se asombraban de la creatividad que ponía de manifiesto, ya vieran en él el fruto de la mano de Dios o el proceso de la evolución. Hoy, sin embargo, hablar del valor de la biodiversidad se ha convertido en «una industria doméstica», por emplear la expresión del biólogo David Ehrenfeld, de la Universidad Rutgers. Somos, dice, «docenas los que nos quedamos en casa ante el ordenador, barajando razones económicas, filosóficas y científicas en pro y en contra de la conservación de la diversidad».[81]

Son varios los motivos de este cambio de actitud. Entre ellos destaca por su importancia el mayor conocimiento de la complejidad del mundo natural que ha traído consigo la madurez que ha alcanzado la ciencia de la ecología evolutiva durante los últimos diez años, aproximadamente. Basada en las observaciones directas de varias generaciones de naturalistas, la ecología comenzó a tener estatuto de ciencia hace medio siglo, gracias a abanderados como Charles Elton, G. Evelyn Hutchinson y Robert MacArthur. El maridaje de biología y ecología evolutivas es aún más joven, y uno de sus principales resultados es que somos capaces de ver el mundo actual en el contexto del cambio continuo. No contemplamos los organismos individuales sólo como fenómenos naturales y aislados que necesitan valorarse, sino como componentes de ecosistemas que evolucionan juntos. La biodiversidad, por tanto, es expresión de ese cambio colectivo: el mecanismo que permite su funcionamiento esconde muchos secretos todavía, pero comprendemos el fenómeno mucho mejor que antes. Su complejidad y su interrelación nos dejan boquiabiertos. En cierto modo, gracias a un más profundo conocimiento mecánico de la diversidad hemos recuperado el asombro ante la naturaleza de los naturalistas del siglo XIX. Y valoramos lo que vemos, pero en el contexto de la ciencia.

El apremiante motivo por el que los ecólogos hablan hoy tan a menudo del valor de la diversidad biológica, sin embargo, es nuestra reciente conciencia de que está en creciente peligro de extinción. Los ecólogos no sólo quieren saber las consecuencias de las pérdidas, que es lo contrario de expresar su valor, sino también coordinar los argumentos para poner freno a dichas pérdidas. El espectro de la extinción de

especies (en buena medida por culpa de la destrucción de hábitats que acarrea la expansión de la industria y la agricultura, que es a su vez un aspecto del continuo crecimiento de la población humana) se irá viendo más claramente conforme avancemos por los últimos capítulos de este libro. En éste abordaré el tema del valor (sus múltiples formas) de la biodiversidad, en virtud del reconocimiento de su creciente importancia. Como hemos visto, hay actualmente en la Tierra unos cincuenta millones de especies. ¿Qué ocurre si perdemos algunas?

Los naturalistas del siglo XIX habrían dicho que nos afecta porque cada especie es parte del todo y deberíamos valorarla por su contribución al todo. Muchos ecólogos actuales piensan igual, pero el contenido de la polémica sobre el valor es muy distinto. Como el peligro que se cierne sobre la diversidad procede del mundo de los recursos materiales, la réplica de los ecólogos se ha encorsetado de manera creciente en términos materiales.

Las empresas mineras y forestales sabrán cuántos dólares obtienen cuando destruyen hábitats naturales talando árboles y extrayendo minerales del suelo. Lo mismo digo de los ganaderos que transforman el bosque en terreno temporal de pastos. Buena parte de la atención de la industria doméstica a que se refería David Ehrenfeld se centra en el valor económico de los hábitats que desaparecerían si se explotaran con ánimo de lucro. Si salvar especies y ecosistemas genera más valor que destruirlos, hay un poderoso motivo para salvarlos, por lo menos es lo que se argumenta. «Los ciudadanos tienen miedo de que se rían de ellos si no expresan sus temores y preocupaciones con este lenguaje», comenta Ehrenfeld.[82] En consecuencia, hace tiempo que los ecólogos dejaron que los economistas fijaran los términos de la polémica sobre el valor de la biodiversidad. El peligro es que, tras aceptar la invitación a entrar en la jaula del león, terminen en su plato.

Poner un valor a la diversidad biológica es un problema muy complicado y, por lo que aprendí por mi experiencia diaria como director del Servicio de la Fauna de Kenia, la economía es importante. Por ejemplo, la preocupación principal de las personas a nivel local es la supervivencia. Es necesario que comprendan y experimenten el beneficio económico que se deriva del mantenimiento de los parques donde abunda la fauna; de lo contrario, ¿cómo puede esperarse que renuncien al uso de la tierra con fines ganaderos o agrícolas? Hay muchas formas de afrontar este problema, muy real y particularmente polémico. Pero la economía no puede, ni debe, fijar en exclusiva los límites del debate. Quisiera analizar estos límites. Parte del terreno que pisaré lo conocen cuantos han despertado la preocupación sobre la biodiversidad en los últimos años. Otros asuntos son de irrupción reciente y algunos están estrechamente relacionados con una pasión mía que duró treinta años, el lugar del *Homo sapiens* en el mundo natural. Somos fruto de una evolución que nos incluye como una entre muchísimas otras especies en la complejidad global que es la

biosfera.

Identifico tres enfoques básicos para valorar la biodiversidad. El primero entra de lleno en el reino económico, al que ya he aludido. Se refiere a los beneficios tangibles que podemos sacar de nuestro entorno: comida, materias primas y medicamentos. El segundo beneficio es menos tangible en el sentido tradicional, pero no menos importante; es el mantenimiento del entorno físico, con su circulación de gases, productos químicos y humedad. Está relacionado con la salud crónica del entorno global del que nuestra especie y las demás dependen para su supervivencia. El tercer enfoque del valor es el menos tangible de todos; es el placer estético que los humanos sienten percibiendo la diversidad de la vida a su alrededor. Tal como han dicho ya otros, creo que es algo más que una simple experiencia abstracta; que, por el contrario, cala hondo en lo que consideramos humano. La valoración (y la dependencia psicológica) de la biodiversidad forma parte de la psique, biológicamente construida, del *Homo sapiens*; es fruto de una larga historia evolutiva. Si la biodiversidad se ha empobrecido, por medios naturales o artificiales, no hay que olvidar por tanto que es también un componente fundamental de la existencia humana.

El enfoque económico de la biodiversidad ha sido el reino del valor que se ha explorado más a fondo en los últimos años; en consecuencia, mi análisis será breve. Como ya he señalado, los ecólogos se han lanzado sobre el enfoque económico con decisión y han acabado por acumular un material que puede calificarse de incontestable. Las cantidades de dólares (cuando se pueden saber) a menudo parecen convincentes y, como sabemos, los argumentos con base aritmética gozan de la máxima autoridad en el discurso y el pensamiento occidentales. Su fuerza salta a la vista inmediatamente y, cuando los números cuadran, son irresistibles. Pese a todo, son trampas para los abogados de la biodiversidad atraídos por este aspecto de la situación.

De las tres formas de beneficio directo y tangible que sacamos de la diversidad de la vida que nos rodea (comida, materias primas y medicamentos), la comida es la más evidente y, como es lógico, tiene la historia más larga. Hasta hace sólo diez mil años, los humanos que poblaban el planeta vivían en grupos pequeños y subsistían como cazadores o recolectores en un amplísimo abanico de entornos, tal como habían hecho sus antepasados durante 100.000 años por lo menos. (Las raíces evolutivas de esta modalidad de existencia se remontan en el tiempo por lo menos dos millones de años.) Desde las heladas estepas hasta las pluvisilvas tropicales, desde los prados templados hasta la tórrida sabana, desde los cinturones costeros hasta las elevadas

mesetas, los humanos explotaron millares de recursos alimentarios naturales. Las dietas solían ser variadas y reflejaban una sabia explotación de todo lo que ofrecía la rica diversidad de la naturaleza. Hace diez mil años, los humanos comenzaron a producir comida, es decir, a practicar la agricultura, basándose en su experiencia de lo que podía plantarse y criarse. La cría artificial (al principio casual y luego planificada) aumentó el valor alimentario de ciertas plantas y animales. En consecuencia se fueron reduciendo las especies que tenían que alimentar a una población en crecimiento continuo. En la actualidad hay unas veinte especies vegetales que proporcionan el 90 por ciento de la comida (vegetal) que digieren los estómagos de todo el mundo; y hay tres, el maíz, el arroz y el trigo, que rebasan el 50 por ciento de los cultivos.

Que esta increíble productividad venga de una serie de especies tan exigua puede considerarse un triunfo de la agricultura moderna y ciertamente se ha exaltado como tal. Pero la idea tiene los pies de barro, ya que la concentración de la producción alimentaria en unas cuantas especies (básicamente monocultivos) hace que la agricultura se sensibilice a las devastaciones masivas que causan las enfermedades. Un organismo patógeno que se vuelva hostil por culpa de una mutación para la que los híbridos actuales no tengan defensas causará una catástrofe que no se produciría en una agricultura heterogénea. Es un argumento sencillo y lógico que incluso los economistas pueden entender, y comienzan a entenderlo. En los últimos años han adquirido impulso los esfuerzos por incorporar variedades de cultivos hasta entonces arrinconadas.

Las siete mil especies vegetales que se han cultivado durante la historia conocida representan un muestrario posible de estos aprovechamientos. Pero aún hay por lo menos treinta y cinco mil especies vegetales comestibles por explotar, probablemente el doble. Es ridículo encogerse de hombros ante esta riqueza porque pueden aportar variedades capaces de prosperar en condiciones ambientales adversas y en presencia de agentes patógenos que son catastróficos para los cultivos tradicionales. Por ejemplo, las variedades silvestres de maíz y tomate que se cruzaron con especies cultivadas han transformado la industria agrícola en los últimos años. La historia del descubrimiento de estas especies es ya leyenda entre los biólogos y los agrónomos.

En ambos casos las variedades silvestres existían en poblaciones ínfimas que habrían podido extinguirse fácilmente por pura casualidad o a causa del desarrollo económico y la destrucción de hábitats, o seguir en el anonimato por ignorancia nuestra. La literatura técnica abunda en casos semejantes, aunque tal vez menos espectaculares. Por decirlo con sencillez, el actual nivel de biodiversidad debería valorarse como recurso para planificar un futuro agrícola más variado y resistente.



Pimentero común o negro (*Piper nigrum*, Linneo)

Hablo aquí de la explotación de plantas silvestres como productos cultivables por su valor intrínseco, porque su potencial es enorme, y por su valor colectivo, ya que pueden aportar características provechosas (por ejemplo resistencia a las enfermedades) a las plantaciones ya existentes. Las recién afiladas herramientas de la biología molecular han aumentado muchísimo el potencial agrícola de los recursos genéticos de las plantas silvestres. Hace una década, el botánico Thomas Eisner, de la Universidad de Cornell, hizo una comparación gráfica para referirse a este nuevo potencial. Una especie, dijo, es como un libro cuyas páginas son los genes, almacenes de información genética resultado de millones ce años de evolución. No es un volumen cosido y encuadernado, sin embargo, que puede cerrarse con limpieza como un paquete. Es más bien un libro de hojas sueltas, un manuscrito «cuyas páginas, los genes, podrían estar preparadas para el traspaso selectivo y la modificación de otras especies». Los profesionales de la agricultura ya no se limitarán a conceder los efectos provechosos de los de una especie a otras estrechamente relacionadas. Gracias a la ingeniería genética, la multitud de genotecas que han evolucionado desde la explosión cámbrica permite, en principio, hacer infinitas binaciones entre especies no relacionadas entre sí. Cada vez que extingue una especie, el potencial se reduce y ni siquiera nuestros nietos podrán aumentarlo.

Es imposible decir con exactitud cuánto dinero, qué parte de los beneficios que produce actualmente la agricultura procede de la explotación de especies antaño olvidadas, pero sin duda rebasa los quinientos millones de dólares al año. ¿Y quién

puede prever el impacto económico que causaría en la producción alimentaria general la explotación por ejemplo, de la palma buriti, el macal, el árbol del tomate, la bífida, la iguana verde, la vicuña y muchas otras especies salva plantas y animales, como fuentes alimentarias propiamente dichas como repertorio de genes aprovechables? Algunas de estas especies se podrían cultivar en grandes cantidades, como es habitual en la agricultura dominante, pero hay muchas que es preferible recolectar e quenas cantidades de su hábitat natural. La idea de explotar de manera limitada especies exóticas en su hábitat natural es tema de encendida polémica entre ecólogos y ecologistas. Por un lado están los que dicen que es más probable que los ecosistemas se conserven si la puede vivir explotando sus recursos de manera limitada. Es la fui del «úsalo u olvídalo», a la que me adhiero con firmeza. Otros que todo impacto humano en los ecosistemas los reducen y, por su conservación depende del mantenimiento de las condiciones les (sea esto lo que fuere), lejos de todo contacto o explotación.



Tapioca (*Manihot utilissima*, Pohl). Las sociedades tecnológicamente primitivas emplean una gran variedad de plantas para comer y elaborar medicamentos. En la actualidad se explota sólo un puñado de plantas, a pesar de que la naturaleza está llena de posibilidades que corren peligro conforme se van talando los bosques del planeta.

En el marco de la primera filosofía, Charles Peters, Alwyn C y Robert Mendelson estudiaron hace poco el potencial económico de una hectárea de bosque tropical peruano. El valor de un hábitat así se mide por lo general por la madera que se le

puede extraer, como operación única e irrepetible. Pero la madera no es el único material de valor que hay en el bosque. Además de los múltiples recursos alimentarios, hay aceites, látex y fibras (y de forma menos inmediata, medicamentos). Esta sola hectárea peruana que Peters y sus colegas estudiaron sostiene árboles que representan unas 275 especies. (Una hectárea de bosque templado tiene una docena de especies a lo sumo.) De esta diversidad de especies surge la explotación potencialmente rica y variada que se verá a continuación.

Peters y sus colegas calcularon que el valor anual de la diversidad de alimentos, fibras, aceites y otros materiales comercializares del bosque oscilaba alrededor de 400 dólares. Pero se trata de un producto sostenible, repetible todos los años, de manera que el valor neto presente (un baremo de economista) asciende a más de 6000 dólares. Añádase a esto la tala selectiva de árboles y el valor llega a 6820 dólares. Compárense estas cifras con los 1000 dólares que salen de la tala extensiva (la práctica habitual) de una hectárea y los 3000 que se obtienen explotándola como pasto para el ganado durante varios años. «No hay duda de que la explotación sostenida de los recursos no madereros del bosque es el método más inmediato y provechoso de fundir el uso y la conservación de los bosques amazónicos», decían Peters y sus colegas en el artículo que publicaron en *Nature* en 1989 acerca de su trabajo.[83] Un punto que adquiere aquí importancia es que cuando se tala una hectárea de bosque y los troncos se destinan a madera y pulpa, los 1000 dólares de beneficio son inmediatos. Para obtener los mismos beneficios del uso sostenido de los productos forestales hacen falta dos años y medio. La diferencia puede parecer insignificante, pero la ganancia a corto plazo, en vez del valor a largo plazo, es el baremo que suele utilizarse.

Este cálculo del valor de la explotación sostenida del bosque se ha criticado por ser demasiado elevado y demasiado bajo, lo que significa que lo justo podría estar en el término medio. Sea cual fuere la verdad, el ejercicio pone de manifiesto que medir el valor de las pluvisilvas únicamente en moneda maderera es ver menos que un topo, en el mejor de los casos, y criminalmente destructivo, en el peor. Lo importante aquí, una vez más, es que el valor del bosque, explotado racionalmente, fluye de la diversidad de las especies que componen la comunidad ecológica. Los argumentos de economistas como Julián Simón, de la Universidad de Maryland, al afirmar que las tierras de bosques aumentan su valor si se talan todos los árboles y se sustituyen por plantaciones de, por ejemplo, eucaliptos y pinos foráneos son falsos y puede demostrarse.

Entre las formas de beneficio económico latente en la biodiversidad actual, y sobre todo en la diversidad de las especies de las pluvisilvas, la relativa a los medicamentos ha recibido una gran atención hace poco y por buenos motivos. Los antropólogos saben desde hace mucho que los pueblos indígenas utilizan un amplio

muestrario de especies vegetales de su entorno, como arsenal no sólo alimentario, sino también sanitario. Lo he visto en mi propio país, concretamente entre los masái, y de tarde en tarde he utilizado las virtudes antibacterianas y antiinflamatorias del zumo de la sansevieria, una planta suculenta que crece en zonas áridas de Kenia. Tenido por místico y misterioso durante mucho tiempo, el uso de remedios herbáceos en la medicina tradicional se considera hoy una guía en la producción de medicamentos eficaces en occidente. La verdad es que los productos vegetales nutren un porcentaje significativo (alrededor del 25 por ciento) de los fármacos que se emplean actualmente en la medicina occidental, entre los que se cuenta, y no en último lugar, la aspirina. Derivado de un constituyente de la *Spiraea latifolia*, este modesto producto químico es el fármaco más usado en el mundo. Otro 13 por ciento de fármacos occidentales se hacen con productos derivados de microorganismos, y el 3 por ciento de animales terrestres, lo que acerca a la mitad el total de los productos farmacéuticos orgánicos de la medicina *high-tech*.

Muchos de estos remedios, como la penicilina, se utilizan desde hace décadas y tendemos a darlos por hechos, una simple casualidad histórica. Otros, como la vincristina y la vinblastina, alcaloides de la vicaria de Madagascar, son estrellas recientes. Descubiertos mientras se buscaban otros, estos productos químicos curan a pacientes afectos de leucemia aguda, un cáncer mortal, y de la enfermedad de Hodgkin. La leyenda de la vicaria malgache y su contribución a la medicina occidental es un ejemplo de lo bueno y de lo malo que tiene la explotación de los recursos naturales como arsenal de fármacos poderosos.

Las plantas son fábricas químicas muy adaptables que producen un amplio abanico de moléculas de múltiples usos, unas veces como parte del metabolismo diario de una especie, otras como defensa frente a los predadores. Los alcaloides vegetales, por ejemplo, repelen con eficacia los posibles devoradores de plantas. Con unas 250.000 especies vegetales en el mundo, fruto de cientos de millones de años de evolución en una amplia variedad de condiciones ambientales, el arsenal de alcaloides y otros productos es prácticamente inagotable. La vincristina y la vinblastina no son más que dos entre los sesenta alcaloides derivados de la diminuta vicaria, que salvan miles de vidas y producen al año cerca de 200 millones de dólares en ventas. Las vidas salvadas son el valor que se obtiene de explorar lo que da la naturaleza. Es lo bueno de la historia de la vicaria malgache. Lo malo es que Madagascar, de donde procede la planta, no percibe ni un céntimo de los beneficios que consiguen las empresas farmacéuticas explotando la herencia genética del país.

Madagascar, isla del océano Indico, posee una flora y una fauna extraordinariamente ricas y en buena medida únicas. Puede que a los malgaches les gustara que se redujera, incluso que se detuviese, la destrucción masiva de sus bosques si vieran algún provecho en mantenerlos, por ejemplo, como fuente potencial

de ingresos por los medicamentos que se descubrieran en ellos. La herencia genética de un país es un recurso tan natural como sus yacimientos de minerales. Las empresas occidentales que explotan dicha herencia con ánimo de lucro deben pagar por ella lo que vale. Me satisface comprobar que, aunque las empresas farmacéuticas occidentales han aumentado sus esfuerzos en los últimos años por encontrar medicamentos poderosos en la diversidad vegetal de las regiones tropicales, hay en curso negociaciones más equitativas. Se dio un primer paso en 1992, cuando el gigante farmacéutico Merck accedió a pagar a Costa Rica un millón de dólares durante dos años para poder buscar fármacos latentes en los bosques del país. Otras empresas siguen este ejemplo.

Hace una década, la industria farmacéutica estadounidense invertía más de 4000 millones de dólares al año en la investigación y fabricación de productos sintéticos. Mientras tanto, la venta de medicamentos recetados que procedían directamente de sustancias vegetales naturales producía el doble, unos 8000 millones de dólares. Sin embargo, ninguna empresa tenía en activo ningún programa para encontrar fármacos nuevos en las plantas superiores. Ahora que la ciencia occidental ve las plantas como bonitos sintetizadores químicos y la medicina tradicional como algo más que una fantasía, las cosas han cambiado. Con muchas empresas de peso y varias organizaciones nacionales trabajando juntas en planes de investigación, es de esperar que crezca la lista de nuevos medicamentos naturales. Como es lógico, tienen que pasar unos años para que un producto químico pase de la fase de prueba a llenar las estanterías de las farmacias, pero el valor económico de estos medicamentos seguramente será enorme al cabo de ese tiempo. Y es éste el valor económico que podría atribuirse a las comunidades ecológicas de todo el mundo, que forman en conjunto la biodiversidad global.

Como fuente de cultivos nuevos o mejorados, de materias primas y de medicamentos nuevos, la biota mundial tiene sin duda un valor inmenso, un valor que puede expresarse en dólares a la hora de polemizar con los economistas. Algunos ecólogos, para responder a las provocaciones de Julián Simón y otros economistas, se han negado a secundar la reciente tendencia a dar un valor monetario a los hábitats naturales. El botánico Hugh litis, de la Universidad de Wisconsin, que descubrió una variedad de tomate que ha dado más de 80 millones de dólares en la última década, expresó con firmeza este punto de vista en una importante conferencia sobre la biodiversidad. «Pierdo la paciencia ante las farisaicas exigencias de los inversores, los economistas y los espíritus humanitarios que quieren que los biólogos “demostremos” con pruebas contundentes, aquí y ahora, el “valor” de la biodiversidad y los “daños” de la deforestación tropical», dijo. «Más bien son ellos, los patrocinadores de la destrucción irresponsable, quienes deberían demostrar al mundo, antes de que la sociedad les dé permiso para destruirlos, que una especie

vegetal o animal, o un ecosistema raro, no son útiles ni ecológicamente importantes.»[84] Muchos ecólogos están de acuerdo con litis en privado, pero como se sienten obligados a responder a los economistas en el terreno de éstos, en público se manifiestan a favor de poner un precio a los ecosistemas para defender el valor de la biodiversidad. Juegan tácticamente con el peligro.

Aunque las cifras económicas suelen impresionar, nunca son seguras y nunca podrán representar una defensa completa del valor de la biodiversidad. ¿Quién podría discutir en serio que los futuros beneficios materiales que acabo de describir dependen de la existencia continuada de las 250.000 especies vegetales? Evidentemente, no sabemos en cuál de estas especies se encuentra el remedio del sida, ni los genes de importantes cultivos que no conocemos. Pero incluso la mitad de la cantidad citada representaría una gran genoteca de la que, con los medios necesarios, podríamos obtener lo que quisiéramos. ¿Y las especies que no ofrecen ningún beneficio material en potencia? ¿No tienen ningún valor? En la palestra económica no. Como ha dicho David Ehrenfeld, «si yo estuviera con los explotadores y destructores de la diversidad biológica, nada me gustaría más que machacar a mis enemigos, los ecologistas, en el tema del valor».[85]

El valor en términos convencionales cambia conforme cambian las circunstancias en el mundo. Las plumas de ave tuvieron antaño un gran valor económico porque eran útiles de escritura que estaban en todas partes. Ya no. El potencial de las plantas del mundo como fuente de medicamentos podría evaporarse de la noche a la mañana si se inventaran métodos nuevos de producir fármacos. La verdad es que, con la aparición de la química teórica y sus eficaces simulaciones informáticas, y con la capacidad para «desarrollar» productos químicos en condiciones controladas, la industria farmacéutica podría estar ya en el umbral de una revolución que tal vez despoje a los bosques tropicales de todo el valor que tienen para ella. Los ecologistas se quedarían entonces sin uno de sus principales argumentos en favor de la importancia de los bosques y vencerían los economistas. «No creemos que por dar valor a la diversidad legitimemos el proceso que la está borrando del mapa, ese proceso que dice: “Lo importante en cualquier decisión trascendente es la magnitud tangible de los costes y beneficios económicos”», comenta Ehrenfeld. «Si seguimos combatiendo en esta cruzada de la determinación del valor donde éste debería verse por sí mismo, no quedará sino nuestra estupidez cuando se vaya el polvo.»[86]

Coincido con esta forma de pensar y de sentir, pero yo no me negaría a que la economía tuviera algún papel. La economía no puede pasarla por alto ninguna persona que, como fue mi caso, tenga diariamente bajo su responsabilidad la conservación del mundo real. Un ecosistema, como un parque o una reserva, tiene valor turístico, por ejemplo, y el parque debe producir beneficios materiales a las personas que vivan en él o en los alrededores; de lo contrario no tendría aliciente

conservarlo. Pero querer asignar un valor monetario a los ecosistemas en un marco económico tradicional es absurdo y está condenado al fracaso.

Imaginemos que Julián Simón y otros pensadores afines tienen razón cuando sugieren que sustituir las pluvisilvas por plantaciones de árboles o por pastizales aumentaría el valor económico de la tierra. Supongamos que la industria farmacéutica dice dentro de poco que ya no quiere dar ningún uso a los distintos productos químicos de cientos de millones de años de evolución. ¿Se quedarían los ecólogos sin argumentos para defender la biodiversidad? No. Aunque nuestra dependencia de los productos naturales para obtener comida y materias primas es directa y evidente, hay un beneficio menos directo pero igual de importante que obtenemos del mundo natural que nos rodea. Los biólogos Anne y Paul Ehrlich, de la Universidad de Stanford, lo llaman «servicios ecosistémicos». Confiamos tanto en las comunidades vegetales para el mantenimiento de un entorno vivo que casi da vergüenza tener que proponerlo para demostrar el valor de la biodiversidad. Pero cuando Julián Simón insinúa que el desahucio de los bosques tropicales del mundo no nos perjudicaría, ¿cree de veras que la destrucción de más de la mitad de las especies del mundo (no sólo vegetales, sino también animales) no tendría ningún efecto en el funcionamiento de la biota mundial? Eso parece.

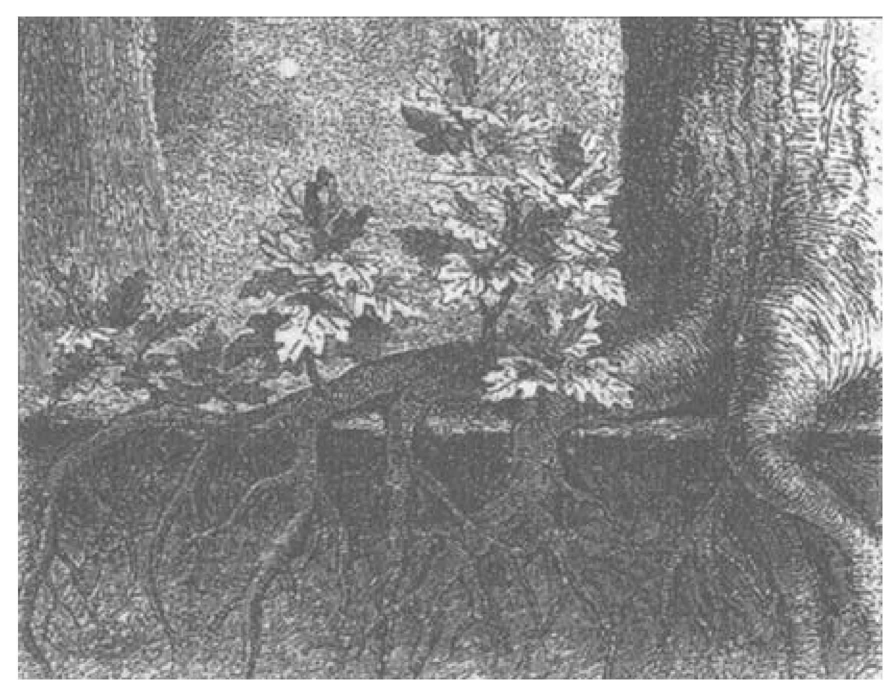
La atmósfera de la Tierra contiene altos niveles de oxígeno y anhídrido carbónico desde hace mil millones de años, al principio por la fotosíntesis de los organismos marinos y luego por la de los organismos terrestres. La humedad circula por la misma mediación terrestre; un solo árbol de pluvisilva, por ejemplo, trasvasa del suelo al aire, en el curso de toda su existencia, del orden de trece millones y medio de litros de agua. Las pautas de las precipitaciones en el resto del globo dependen de este proceso incesante en miríadas de árboles ecuatoriales. Los bosques son los pulmones del planeta. Los árboles, tropicales o templados, no viven solos, sin embargo. Hace poco se contaron cuarenta y seis mil lombrices y afines, doce millones de nemátodos y cuarenta y seis mil insectos, y todo debajo de un metro cuadrado de suelo de bosque danés. Un gramo del mismo suelo contenía más de un millón de bacterias de un solo tipo, cien mil células de levadura y cincuenta mil fragmentos de hongo.

Estos números hay que digerirlos despacio, pero los números en cuanto tales no son lo que importa. En ellos vemos no sólo una alborotada profusión de diferentes formas de vida, sino también una rica pauta de interacciones, la red viva que es el ecosistema. Hacia el final de *El origen de las especies*, Charles Darwin evocó una imagen gráfica de la interconexión resultante de la evolución: «Es interesante observar la abigarrada orilla de un río, cubierta por multitud de plantas de múltiples clases, con pájaros cantando en los arbustos, insectos revoloteando y gusanos arrastrándose por la tierra húmeda, y pensar que estas formas de complicada

construcción, tan diferentes entre sí y que dependen unas de otras de modo tan complejo, son producto de las leyes que operan a nuestro alrededor».[87]

Pudo verse un ejemplo de esta interacción, que constituyó una sorpresa reveladora, cuando, no hace mucho, los biólogos se percataron de que los omnipresentes hongos del subsuelo eran esenciales para la supervivencia diaria de las plantas superiores. Hay infinitos filamentos fúngicos en estrecha simbiosis con las raíces vegetales que aportan minerales básicos sin los cuales las plantas morirían. En todos los ecosistemas del mundo, microorganismos, plantas superiores, invertebrados y vertebrados coexisten con interdependencia laberíntica, socios en la creación y sostenimiento del entorno físico de los gases atmosféricos y de la composición y productos químicos del suelo. Los ecosistemas por sí solos funcionan como conjuntos integrados, no como especies que están en compañía de otras pero apartadas de ellas. El *Homo sapiens* es una unidad más en esta pauta de interdependencia.

Hace dos décadas, el químico e inventor británico James Lovelock llevó más allá la idea de interdependencia ecosistémica; la llevó a nivel global. Etiquetada como «hipótesis de Gaia»,[*] su teoría venía a decir que todos los ecosistemas del planeta dependían esencialmente unos de otros, que operaban como un todo y que estaban inextricablemente unidos al entorno físico. Una consecuencia de esta interdependencia era el establecimiento y mantenimiento de las condiciones físicas imprescindibles para la vida. Algunos entusiastas de Gaia extrapolaron la teoría hasta el extremo de sugerir que la biota de la Tierra es como un organismo único cuyo objetivo es mantenerse a sí mismo. Por esta razón, los biólogos no se tomaron en serio la hipótesis; parecía demasiado mística. Hace poco, sin embargo, los ecólogos han cruzado la superficie mística y han admitido que Lovelock tenía razón; así como los ecosistemas individuales se mantienen por la interacción de las especies que los componen, la salud ambiental de la biota de la Tierra fluye de la interacción de todos sus ecosistemas.



Hasta hace poco no se sabía que las raíces de las plantas estaban integradas en una vasta red de filamentos fúngicos, de la que dependen para vivir. Es un ejemplo de la interacción entre los organismos, un aspecto fundamental de la diversidad pasada y presente.

La teoría de Gaia tiene mucho que decir en nuestra valoración de la diversidad. Su autor dijo en una importante conferencia sobre el tema: «Ya no tenemos que justificar la existencia de los bosques húmedos tropicales sobre la débil base de que podrían contener plantas con fármacos capaces de curar enfermedades humanas. La teoría de Gaia nos obliga a ver que hay mucho más. Gracias a su capacidad para emitir grandes cantidades de vapor de agua, refrescan el planeta abriendo una sombrilla de blancas nubes reflectantes. Su sustitución por campos cultivados podría causar un desastre a escala global».[88] Predicciones catastróficas aparte, el meollo de la teoría de Gaia se ha sometido a prueba ya muchas veces y se ha hecho valer. Se ha demostrado que el equilibrio de muchos ciclos químicos, no sólo la humedad, fluye directamente del funcionamiento de los ecosistemas. Aunque todavía hay quienes hablan de la teoría en sentido místico, Gaia es ya ciencia seria y estamos obligados a tomar nota de sus consecuencias.

Después de reconocer que el mantenimiento de las condiciones físicas que sostienen la vida que conocemos depende de que la biota de la Tierra funcione como un todo integrado, ¿qué más podemos decir de la biodiversidad? Por repetir una pregunta ya formulada, pero en otro contexto, ¿son necesarios los cincuenta millones de especies que hay para que Gaia siga en marcha? ¿No se haría el trabajo igualmente bien si hubiera sólo 100.000 especies vegetales en vez del cuarto de millón que tenemos ahora? ¿Son realmente necesarias todas las 600.000 especies de escarabajos?

Los ecosistemas del mundo funcionarán como una totalidad mientras duren, sobre todo ante perturbaciones ocasionales como las tormentas y los incendios. Si esta

duración, o estabilidad, tiene en la base una elevada diversidad de especies, se puede decir que la biodiversidad tal como la vivimos actualmente posee valor. Si, por el contrario, la estabilidad no necesita una diversidad de especies elevada, no podremos valorar del mismo modo la biodiversidad actual. (La alta biodiversidad, como es lógico, podría ser esencial para más cosas que la estabilidad ecosistémica.) La ecuación diversidad-estabilidad la vienen debatiendo los ecólogos desde hace años (sin llegar a un acuerdo), sobre todo los investigadores de campo por un lado y los teóricos por el otro. La solución, sin embargo, puede estar cerca.

Los biólogos de campo han creído por tradición que la complejidad interactiva entre las especies de un ecosistema es importante para su estabilidad. Esta opinión se basaba más en el sentido común que en hechos comprobados, por dos razones. Primera, hacer experimentos ecológicos con la naturaleza es increíblemente difícil; la escala de los seres suele resultar frustrante, tanto a nivel físico como temporal. ¿Quién puede alterar un ecosistema natural a la carta, poner controles y esperar medio siglo para ver los resultados? Así que había pocas observaciones reales en que basar los juicios. Segunda, el biólogo de campo, una vez inmerso en el ecosistema que estudia, tiene una sensación muy real de que todas las cosas tienen un papel que desempeñar en la emergencia del conjunto. Esta sensación «intimista» influyó en el pensamiento biológico durante mucho tiempo, pero ya a comienzos de los años setenta aparecieron modelos teóricos que daban a entender que cuantas menos especies contuviera un ecosistema, más estable era. Los modelos, desarrollados principalmente por Robert May, de Oxford, decían a grandes rasgos que cuantos más componentes hubiera en el sistema, más probabilidades habría de que las cosas salieran mal. Y que si los componentes estaban estrechamente interconectados, cualquier cosa que fallase en una parte del sistema podía iniciar el hundimiento del conjunto. El sentido común contra rigurosos modelos matemáticos; el enfrentamiento duró varios años.

Mientras la polémica proseguía, los biólogos no dejaban de preguntarse: si los sistemas no necesitan una diversidad abundante, ¿por qué son tan abundantes en especies? De aquí salieron dos opiniones, la hipótesis de los pernos perdidos y la hipótesis de la superfluidad. Propuesta por los Erlich, la primera dice que cada especie desempeña un papel pequeño pero trascendente en el funcionamiento del ecosistema, al igual que los múltiples pernos que mantienen en su sitio las partes de un avión. La pérdida de unas cuantas especies (como la pérdida de unos cuantos pernos) debilita el conjunto, aunque no hasta un extremo necesariamente peligroso. Piérdase otro puñado y despuntará la catástrofe, en particular si el ecosistema afronta una dura prueba, como una perturbación ambiental (o una turbulencia del aire en el caso del avión). En la hipótesis de la superfluidad, propuesta por el ecólogo australiano Brian Walker, casi todas las especies se consideran innecesarias, como si

fueran pasajeros que van en un avión con las partes sujetas por pernos. Para que el ecosistema goce de buena salud, sólo son necesarias entonces unas cuantas especies clave. Entre las múltiples especies que hay en el ecosistema, sólo unas cuantas desempeñan los papeles decisivos. ¿Qué modelo es el verdadero?

James Lovelock salió a la palestra con un modelo teórico propio, una simulación informática, Daisyworld o Mundo de Margaritas, que construía miniecosistemas. Según los resultados de Daisyworld, cuantas más especies había en el ecosistema, mayor era la estabilidad. Este resultado parecía apoyar la relación directamente proporcional entre la biodiversidad y la estabilidad, la hipótesis de los pernos perdidos. Los teóricos se resistían a aceptar las conclusiones de Lovelock, pero tuvieron que prestar atención cuando en 1993 y 1994 se conocieron los resultados de ciertos experimentos ecológicos innovadores. Grupos de investigadores ingleses y estadounidenses, cada cual por su lado, habían sometido a comprobación el efecto de la diversidad en la productividad y la estabilidad de los ecosistemas.

La productividad no es más que la cantidad de material vivo que puede generar un ecosistema en un tiempo concreto. Es tan importante para los sistemas agrícolas como para los ecosistemas naturales. El biólogo Michael Swift, del Plan de Naciones Unidas para la Fertilidad y Biología del Suelo Tropical de Kenia, ha expuesto de manera convincente los beneficios de la diversidad de especies en los sistemas agrícolas. La mejor forma de aumentar la productividad de un campo de maíz es plantar, no más maíz, sino melones, árboles y leguminosas fijadoras del nitrógeno. En los experimentos que practicaron en la estación de campo de Imperial College (Imperial College of Science and Technology, de Londres), John Lawton y sus colegas comprobaron también que la diversidad de especies dispara la productividad. La lógica de este resultado se ve enseguida, basta con fijarse. Los individuos de una misma especie competirán por los mismos recursos, sobre todo el espacio. Los individuos de diferentes especies (unas pequeñas, otras medianas, otras grandes) pueden sacar provecho de las diferencias territoriales. Cuanto más espacio disponible se aproveche, más individuos se sostendrán y la productividad será mayor.

¿Explica esto la elevada diversidad de especies de casi todos los ecosistemas naturales? Sólo hasta cierto punto, más allá del cual la productividad parece uniformarse. Por ejemplo, aunque la diversidad de especies arbóreas de los bosques de Asia oriental es seis veces la de América del norte y ocho la de Europa, la productividad de todos los bosques es muy parecida. La productividad, por tanto, es sólo una parte de la respuesta. La estabilidad podría ser la otra.

En el curso de una de las investigaciones más importantes de los últimos tiempos, David Turnan, de la Universidad de Minnesota, y John Downing, de la Universidad de Montreal, descubrieron un vínculo directo entre la diversidad de especies y la salud de un ecosistema natural. Los dos dirigieron un estudio de diversos ecosistemas

de las llanuras de Minnesota durante once años, entre los que quiso la casualidad que se produjera la peor sequía que había sufrido la zona desde hacía medio siglo. Lo que habría podido ser una catástrofe para el experimento fue en realidad un golpe de suerte, ya que puso de manifiesto la diferencia que hay entre los ecosistemas ricos en especies y los que tienen pocas. Los primeros, durante la sequía, perdieron muchas menos especies y productividad, y se recuperaron con más rapidez. «Nuestros resultados… apoyan la hipótesis de la diversidad-estabilidad y revelan que el ecosistema en funcionamiento es sensible a la biodiversidad», dijeron en *Nature* en enero de 1994. «Nuestros resultados no corroboran la hipótesis de las especies innecesarias porque siempre encontramos un efecto relevante de la biodiversidad en la resistencia a la sequía y en la recuperación».[89]

Las especies, por lo visto, son más como los pernos del chasis del avión que como los pasajeros que van sentados en la carlinga. Pero sigue sin saberse con exactitud cuántos pernos tienen que perderse para que el avión corra peligro y nadie sabe cómo averiguarlo. Pese a todo, los biólogos han hecho hace poco una firme declaración en defensa de la relación diversidad-estabilidad, que viene a ser como defender la abundancia de las especies. A principios de 1994, la Comisión Científica para los Problemas Ambientales, que está integrada en el Plan para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas, se reunió en California para pasar revista a las pruebas y opiniones sobre el contencioso. Tras tener el valor de admitir que nadie tenía una solución totalmente satisfactoria, la comisión llegó a la conclusión de que la alta diversidad de especies es beneficiosa; que podría haber cierto nivel de superfluidad en muchos ecosistemas, pero ¿quién podría decir que sabe todo lo que hay que saber para manipularlos?

Siempre me han fascinado los lugares lejanos y salvajes, y los animales siempre me han despertado afecto y curiosidad. Lo que más quería de adolescente era ser funcionario de protección de la caza, vivir en la selva, cazar animales peligrosos, llevar una vida aventurera. Cuando era director del servicio de la fauna, no sólo afrontaba los asuntos prácticos de la conservación de la fauna en medio del desarrollo y el horror diario de ver los efectos de la cacería furtiva de elefantes, sino que también llegué a sentir una pasión profunda y visceral por la naturaleza.

De niño acompañaba a mis padres en busca de los primeros restos humanos y llegué a conocer muy bien a los animales y su entorno natural. También aprendí a desenvolverme solo en la selva; a encontrar agua y comida en lo que tenía todas las trazas de ser un desierto estéril; a seguir la pista de los animales salvajes y a cazarlos. Inconscientemente aprendí a ser parte de la naturaleza, a respetarla, a no tenerle miedo. Aunque entonces no me daba cuenta, tuve muchísima suerte durante aquellas

experiencias infantiles, ya que me permitieron entrar en contacto con algo fundamental para la psique humana. Pocas personas tienen esta oportunidad y son muchas las que la buscan.

Nuestros antepasados *Homo sapiens* vivieron durante unos 150.000 años dedicándose a la caza y la recolección en múltiples ambientes. Este eficacísimo modo de existencia comenzó con la evolución del género *Homo*, hace más de dos millones de años. La expansión cerebral producida desde entonces y el desarrollo psíquico que la ha acompañado se dieron en el contexto del modo de vida de la caza y la recolección. Era una vida de dependencia e intimidad máximas con la naturaleza. Exigía mucha sensibilidad para cada aspecto del entorno. Nuestros antepasados veían sin duda a las demás especies que poblaban el mundo como fuente alimentaria; debieron de presenciar muchas cosas asombrosas en aquel mundo, tal como se refleja en las pinturas rupestres de Europa y África; y se concebían como parte integral de este mundo heterogéneo. He dicho varias veces que, aunque vivimos en un mundo moderno y tecnológico, tenemos mentalidad de cazadores-recolectores. Yo sabía estas cosas, si no conscientemente, al menos por instinto, cuando, de pequeño, escuchaba fascinado las anécdotas que contaba mi padre; y cuando vagaba sin temor por los terrenos agrestes de la garganta de Olduvai. Edward Wilson bautizó este instinto hace década y media: lo llamó biofilia.

Hace poco el mismo Wilson definió la biofilia diciendo que era «la vinculación emocional innata de los seres humanos con otros seres vivos».[90] Wilson hablaba de algo muy arraigado en la psique humana, algo que forma parte de nuestro ser después de evolucionar durante millones de años. Hablaba de las reacciones emocionales que afectan a la esencia de la humanidad, a la esencia misma de nuestra historia. Algunas de estas reacciones emocionales ante la naturaleza pueden ser negativas, como la aversión que sienten muchas personas por las serpientes, incluso por la idea abstracta de serpiente. Pero muchas son positivas. ¿Por qué, si no, buscamos sosiego en el campo cuando nos cansamos de las tensiones de la vida urbana? ¿Por qué en Estados Unidos y Canadá hay más visitantes de parques zoológicos que asistentes a las principales competiciones deportivas juntas? ¿Y por qué corre a comprar una casa en el campo todo el que tiene medios para ello? El psicólogo Roger Ulrich ha demostrado que, puestos a elegir visualmente entre un paisaje urbano y otro rural, los ciudadanos optan por el último por mayoría abrumadora.

La preferencia podría estar más arraigada aún, y es posible que se remonte a nuestro remoto pasado. A la hora de elegir visualmente entre distintos paisajes rurales, los ciudadanos optan mayoritariamente por el campo ondulado por las lomas y salpicado de árboles, a ser posible de copa ancha. El ecólogo Gordon Orians, de la Universidad de Washington, interpreta esta preferencia como una profunda conexión psíquica con nuestros orígenes africanos, y el paisaje preferido como un recuerdo de

la sabana poblada de árboles. Algunos consideran forzada esta conclusión, pero al igual que el cariño y el miedo espontáneos que sentimos hacia determinados animales, pulsa una cuerda que no se puede pasar por alto. Sea positiva o negativa, nuestra reacción ante la naturaleza salvaje es, según la hipótesis de la biofilia, una parte de la naturaleza humana que no se puede erradicar. Es la herencia de los milenios que pasamos como cazadores-recolectores en los tiempos primitivos.

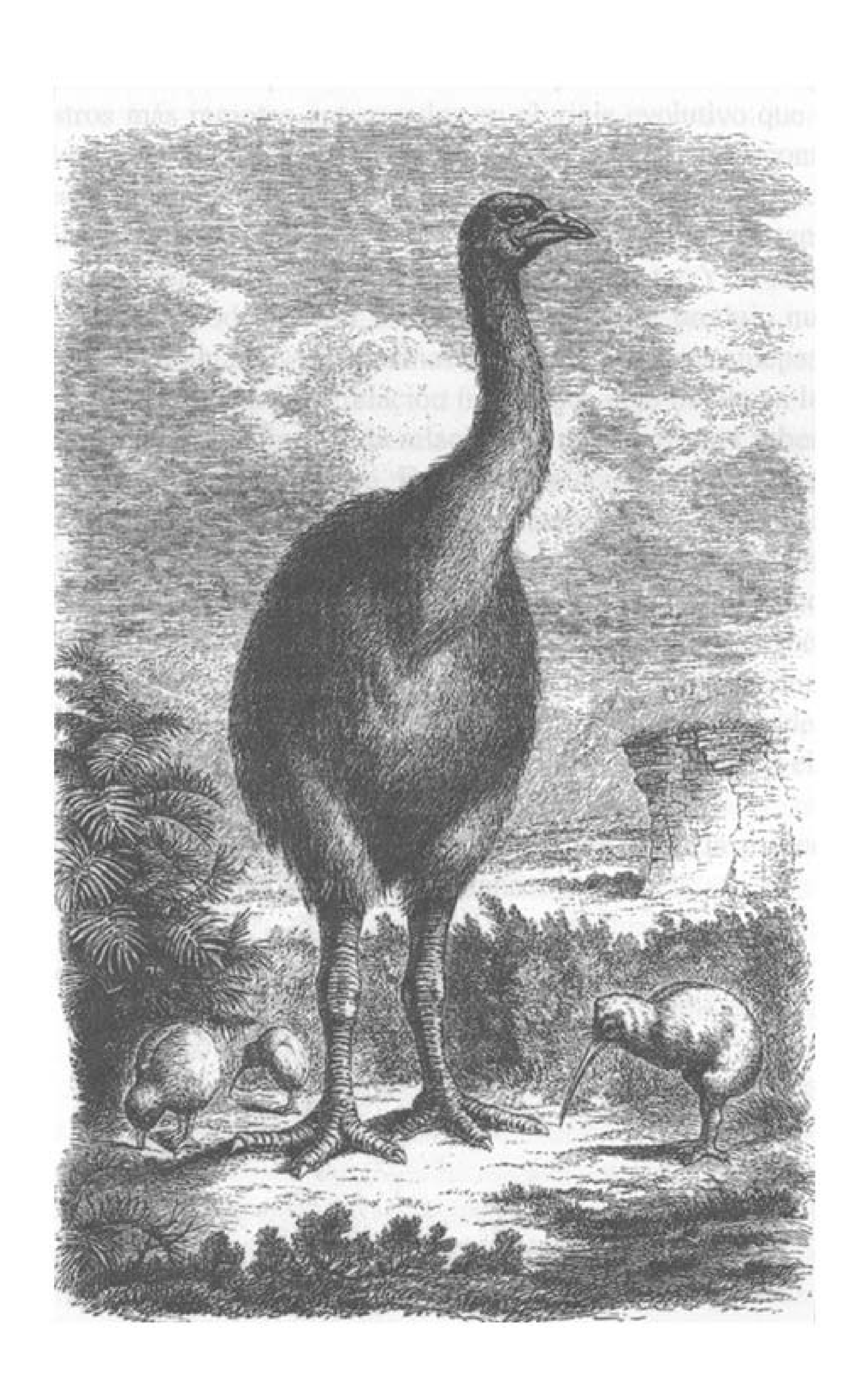
La cultura occidental, con su civilización de alta tecnología, ha acabado por olvidar la conexión básica entre la psique humana y el mundo natural, mientras que ha puesto esperanzas en otros mundos de nuestro sistema solar o de otros sistemas. Ha olvidado la conexión, pero la conexión sigue ahí. Otras culturas proceden de otro modo. El nativo norteamericano Luther Oso Erguido escribió hace medio siglo: «Somos de la tierra y la tierra está en nosotros. Amamos a los pájaros y animales terrestres que crecieron con nosotros en esta tierra. Bebieron de la misma agua y respiraron el mismo aire. Somos de una misma naturaleza. Por creerlo, había en nuestro corazón una gran paz y una voluntad de ser bondadosos con todas las criaturas vivas que crecían».[91] La cultura occidental ha acabado por considerar que el *Homo sapiens* es no sólo un ser especial en el mundo (y lo es en muchos sentidos), sino además un ser que vive apartado de ese mismo mundo. Como si se nos hubiera puesto en la Tierra, con nuestra forma actual completa y acabada, para dominar a las demás criaturas. Esto no es verdad, pero es muy cómodo pensar en términos evolucionistas y vernos como fruto de un largo proceso y al mismo tiempo concebirnos como seres especiales y apartados. A fin de cuentas, no hay nada que se nos iguale en el resto de la Creación. A fin de cuentas, hay un abismo tremendo entre el cerebro del *Homo sapiens* y el de nuestros parientes más cercanos, los monos africanos.

Pero cuando uno se pasa la vida reconstruyendo el camino seguido por nuestros más remotos antepasados en el viaje evolutivo que va el mono al hombre, el abismo desaparece. No sólo se puede encontrar e identificar físicamente las especies que nos relacionan con nuestras raíces más antiguas *(Homo erectus* y *Homo habilis*), sino que también podemos construir una imagen de su comportamiento. Y lo más importante de todo, podemos ver el contexto en que se produjo nuestra evolución, los cambiantes ecosistemas de los que nuestros antepasados eran parte integral. Ésta es la relación íntima que dejó huella en la psique humana en formación. A esta relación íntima se refería Luther Oso Erguido en el plano del instinto. Ésta es la relación íntima que todos sentimos en la actualidad, de múltiples maneras, quizá silenciosas. Y es esta relación íntima lo que nos capacita para dar un valor a la biodiversidad de la que hoy somos parte, alejados de los beneficios económicos directos que son la comida, las materias primas y los medicamentos, alejados de los servicios ecosistémicos de los que depende nuestra supervivencia física. El valor de las especies que nos rodean es

inseparable del espíritu humano, un juicio difícil de articular en el contexto de la ciencia, pero válido de todos modos.

Podemos dar valor a la biodiversidad porque nutre la psique humana, el espíritu humano y el alma humana.


¿El equilibrio de la naturaleza?



Las comunidades ecológicas no viven en buena armonía, sino que sufren la influencia de muchas fuerzas, unas caóticas, otras aleatorias. Por encima de todo hay un cambio dinámico e incesante.

Los humanos han producido en el curso de la historia un impacto de primer orden en tales comunidades, poniendo al descubierto lo sensibles que son los ecosistemas a la irrupción de una especie invasora.

La tragedia del elefante moderno pone de manifiesto no sólo nuestro impacto potencial en la naturaleza, sino también el cúmulo de problemas que hay que afrontar al querer proteger sistemas ecológicos complejos.

9
Estabilidad y caos en ecología

Si viajáramos del polo al ecuador veríamos que cuando se habla de la «infinita variedad de la naturaleza» no se está exagerando. Desde las frías tundras y los prados alpinos hasta los bosques tropicales y las despejadas sabanas, pasando por los bosques y pastizales templados, recorreríamos un amplio abanico de comunidades ecológicas diferentes. Esta diferencia es un aliciente de peso para que los norteamericanos y europeos visiten todos los años mi país, Kenia. El contraste entre las comunidades de plantas, animales terrestres e insectos de la patria chica de cada cual y los ambientes que se visitan es enorme. No sólo aumenta la cantidad de especies de las comunidades ecológicas conforme pasamos de las latitudes altas a las bajas, sino que además cambian los tipos de especies en esas comunidades. (Los osos polares no se encontrarán en los ecosistemas tropicales, como tampoco los grandes primates, humanos aparte, se consideran miembros naturales de la fauna templada o ártica.) Esta pauta general es, en parte, consecuencia de la adaptación de las especies a las condiciones locales; las más palpables son la temperatura y la humedad. Una comunidad ecológica local es, por tanto, una serie de especies que, a pesar de sus diferencias particulares, tienen una adaptación común a las condiciones ambientales locales.

Sin embargo, no hace falta ser un trotamundos para ver la variedad (si no infinita, por lo menos grandiosa) de la naturaleza. En cualquier parte del mundo en que estemos, nos encontraremos en medio de comunidades ecológicas que difieren entre sí, a veces de un modo acentuado. Ya he aludido a los ecosistemas espectacularmente distintos que alfombran el Rift Valley de Kenia. También aquí es fácil distinguir una importante fuente de diversidad: entre el fondo del valle y los picos de los altos muros de la fosa tectónica hay cientos de microclimas que presentan condiciones muy variadas para diferentes clases de especies. La evolución y la adaptación operan y generan pautas a todas las escalas.

Como ha señalado el ecólogo John Wiens, de la Universidad de Nuevo México, uno de los objetivos de la ecología «es detectar las pautas de los ecosistemas naturales y explicar los procesos causales que subyacen tras ellas». En lo que llevo descrito hasta aquí, el proceso principal es, como he dicho, la adaptación de las especies a las condiciones locales. Pero cualquiera que haya paseado por un bosque o un prado, y sea observador, se habrá dado cuenta de que atraviesa una especie de parcheado natural y no un paisaje totalmente uniforme. Durante el paseo se verá durante un rato una clase de árbol que poco después dejará de verse; en el extremo sur del prado escaseará determinado tipo de flor, pero abundará en el extremo norte.

Este parcheado natural está formado por comunidades ecológicas parecidas pero diferentes. ¿Qué procesos han dado forma a estas pautas? No hay nada distinto a simple vista en las condiciones ambientales de los dos extremos del prado. ¿Por qué entonces no son idénticos los ecosistemas respectivos? Puede que incluso el observador más atento pase por alto diferencias ambientales decisivas, como la química del suelo o las variaciones del nivel freático. Esta clase de explicaciones es frecuente entre algunos ecólogos, y un ejemplo es la exposición del biólogo Seth Rice, de la Universidad de Carolina del Norte. «Todos los ambientes de todos los ecosistemas varían en el tiempo y en el espacio», dijo en un importante artículo. «La heterogeneidad ambiental se basa en gradientes físicos y químicos omnipresentes.»[92] En otras palabras, las pautas del reino biológico reflejan y están determinadas por las pautas subyacentes en el mundo físico, mediante el proceso de adaptación local.

¿O no? Aunque parece de sentido común, incluso evidente, que los ecosistemas se moldeen de este modo, en los últimos años se ha puesto de manifiesto que hay también otras fuerzas en acción, fuerzas que son mucho menos evidentes, incluso contrarias al sentido común.

El terreno en que nos estamos moviendo ahora, la ecología de las comunidades, plantea unos problemas a la ciencia que están probablemente entre los más importantes e inabordables. En el meollo de estos problemas hay una sola pregunta: ¿cómo llega a ser lo que es una comunidad ecológica? Una respuesta, repetida durante mucho tiempo, es que la comunidad es como es porque así debe ser, porque las condiciones locales lo determinan. Y lo más importante: los miembros de la comunidad se cree que están tan estrechamente adaptados a estas condiciones concertantes y que interaccionan tan íntimamente (son en realidad interdependientes) que una comunidad con una composición de especies distinta no podría sobrevivir. Tal vez sea una afirmación exagerada, pero capta la esencia de buena parte de la teoría ecológica actual. Con esta concepción de la estructura básica de las comunidades ecológicas se relaciona la idea de «equilibrio de la naturaleza».

También percibimos algo intuitivamente razonable en esta expresión y sus consecuencias, algo incluso tranquilizador. Si los ecosistemas son como deben ser, de aquí se sigue que cuando algo los perturba, sea cual fuere el agente, la naturaleza se apresura a remediarlo. Hace poco, Fairfield Osborn, hijo de Henry Fairfield Osborn, sintetizó esta impresión en su libro *Our Plundered Planet* (Nuestro planeta saqueado): «La naturaleza podrá ser un objeto bello, y es ciertamente una sinfonía, pero encima, debajo y en el interior de sus esencias eternas, sus distancias, su impasibilidad e inmutabilidad aparentes, es una máquina activa, resuelta y coordinada». La máquina funciona para mantener equilibradas las comunidades. La expresión «equilibrio natural» pasó a ser en los círculos profesionales y profanos una

contundente metáfora de la armonía básica que se percibía en la naturaleza, evocadora de la perfección del mundo que vemos. La ecología, en consecuencia, arrastró durante un tiempo un inequívoco aire de misticismo. Incluso cuando se disipó este misticismo, hace un par de décadas, la expresión permaneció. Despojado de toda idea de intencionalidad, el equilibrio natural acabó por referirse a la capacidad de una comunidad ecológica para resistir o recuperarse de las perturbaciones, a lo que, más objetivamente, se daba el nombre de estabilidad. Ya se emplee la expresión «equilibrio de la naturaleza» o «estabilidad» hay, como ha observado Stuart Pimm, «algo inequívocamente confuso en los términos».[93]

Cómo se forma una comunidad ecológica sigue siendo una incógnita capital, lo mismo que el comportamiento y las características de la comunidad una vez formada. Estos temas son muy complejos, ya que comportan muchas variables (vale decir especies individuales) que pueden interaccionar de múltiples maneras; y todo esto dentro de un entorno físico con frecuencia tumultuoso. El resultado es un abanico amplísimo, incluso infinito, de pautas potenciales, y querer saber por qué se perfilan unas pautas y no otras es un desafío aterrador.

Todo esto podrá parecer muy académico, y en cierto sentido hay una apremiante necesidad de comprender cómo funciona la naturaleza y cuál fue el origen de la biodiversidad de la que formamos parte. Pero este conocimiento es también vital para nuestro deseo de proteger la biodiversidad, para conservar la infinita variedad de la naturaleza. Por ejemplo, además de ser capaces de dar cuenta de las diferentes especies que componen las comunidades, necesitamos saber qué hace fluctuar las poblaciones de especies dentro de las comunidades. Necesitamos saber qué sensibiliza a una comunidad ante alguna perturbación, en particular las de origen humano, mientras que otra es capaz de resistirla. Necesitamos saber por qué unas comunidades se recuperan con rapidez de las intromisiones, mientras que otras lo hacen muy despacio. Necesitamos saber por qué las especies foráneas pueden invadir unas comunidades con facilidad, pero no otras, y las consecuencias de tales invasiones. Necesitamos saber qué especies son vulnerables a la extinción y cuáles desempeñan en las comunidades un papel tan vital que su extinción desencadenaría una cascada de extinciones. Cada uno de estos problemas tiene un lugar de importancia equivalente en los libros de texto de los ecólogos académicos y en los manuales de los conservacionistas.

Comenzaremos el presente capítulo analizando las últimas conclusiones, contrarias al sentido común, sobre las razones de que las poblaciones de especies fluctúen como lo hacen, es decir, unas veces de manera regular y otras de manera disparatada e imprevista. Esto nos obliga a afrontar la realidad de que buena parte del tiempo la naturaleza no está equilibrada en absoluto, sino en estado caótico. Para algunos podría ser una imagen de la naturaleza demasiado desconcertante (despojada

de toda armonía básica) para darla por buena. Después repasaré cómo han llegado los ecólogos a comprender parte de los procesos que forman las comunidades; casi todos los investigadores se ven obligados a utilizar modelos informáticos de ecosistemas para estos análisis. Aquí veremos que las comunidades ecológicas parecen tener intenciones propias, ya que medran con el tiempo, volviéndose más resistentes a las invasiones de especies foráneas. Hablaré de la dinámica de las invasiones de especies, de lo que permite triunfar a un invasor y de lo que determina el impacto de estos fenómenos. Para la teoría y práctica de la conservación es un punto importante. Por último, contaré un cuento con moraleja sobre cómo deberían los conservacionistas mantener la estabilidad de los ecosistemas, a saber, permitiéndoles cambiar. También esto es contrario al sentido común, al igual que mucho de lo que se está aprendiendo sobre la ecología de comunidades. La naturaleza no es lo que parece.

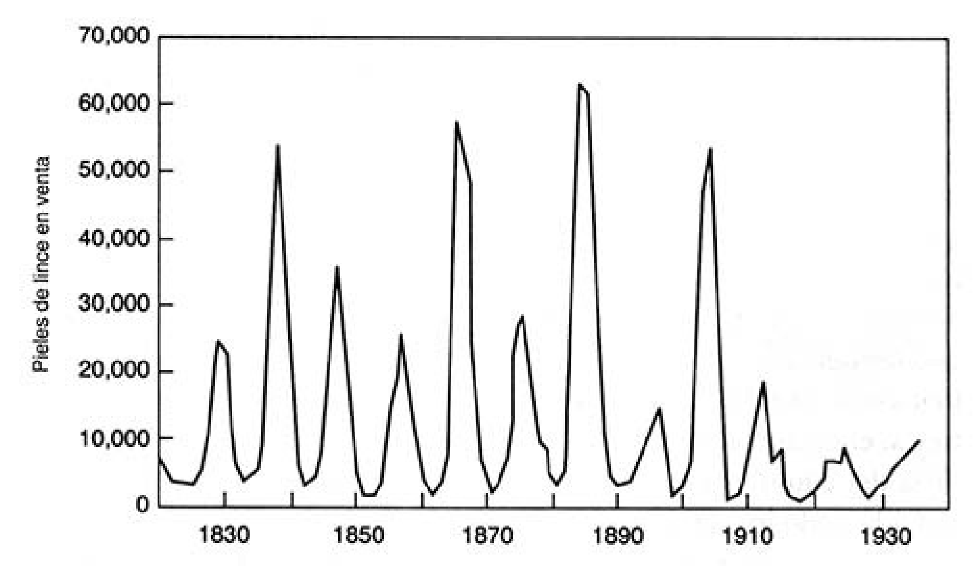
En el Museo Nacional de Historia Natural del Instituto Smithsoniano de Washington se expone una pieza que nunca deja de poner la carne de gallina a los visitantes: una cocina de imitación totalmente infestada de cucarachas, cientos de miles, tal vez millones. Los visitantes que consiguen vencer la inmediata impresión visceral y leer la placa informativa se enteran de que la horda entomológica que tienen delante es la descendencia que tiene una sola hembra en el curso de su vida, por lo menos en teoría. Por suerte, esta fecundidad en potencia se realiza muy pocas veces. Como ya observara Darwin en *El origen de las especies*, casi todos los organismos están capacitados para dejar más descendencia de la que sobrevive. Hay algo que mantiene a raya esta fecundidad. (Los enemigos de las cucarachas deberían estar contentos.) Ese algo comprende recursos alimentarios limitados, competidores, predadores, agresiones climáticas, enfermedades y otros factores. Aunque la media de individuos en una población puede ser relativamente estable durante mucho tiempo, a corto plazo la cantidad real serpentea alrededor de la media. Unas fluctuaciones son apacibles, otras son espectaculares, incluso disparatadas, con explosiones y catástrofes poblacionales, o con alternancias de prosperidad y depresión, como dicen los ecólogos.

Para comprender la dinámica de las comunidades ecológicas a corto plazo (quiero decir una o varias décadas) es de primera necesidad saber qué impulsa las fluctuaciones internas de las poblaciones concretas. Como ha señalado Robert May: «Saberlo no sólo es básicamente importante, sino que además tiene aplicaciones prácticas a la hora de prever los efectos probables de los cambios naturales o humanos que se producen, por ejemplo, cuando se cultiva una población o cuando se alteran las pautas climáticas».[94]

Bajo el sello del equilibrio natural las fluctuaciones poblacionales se explican rápidamente, si no con detalle, al menos en principio. Las poblaciones y las comunidades de que forman parte se consideran equilibradas o casi. Inalteradas por interferencias exteriores, las interacciones entre las plantas, los herbívoros y los carnívoros que constituyen una comunidad alcanzan un estadio de estacionalidad en que las poblaciones de especies se mantienen en un cuidadoso equilibrio. Es la «máquina coordinada» de Fairfield Osborne ronroneando suavemente. Los recursos alimentarios limitados, las interacciones competitivas, el impuesto de los predadores e incluso los efectos de las enfermedades forman parte del funcionamiento de esta máquina coordinada. Cuando una comunidad de especies alcanza el equilibrio, la fuerza principal que altera éste es el clima, con modificaciones a largo plazo o con repentinos episodios violentos, como las tormentas y las oscilaciones térmicas. Las alteraciones climáticas favorecerán a unas especies en perjuicio de otras. Si, por ejemplo, una tormenta diezma la población de determinada especie vegetal, los herbívoros que dependen de ella como fuente de alimentación lo pagarán igualmente; a su vez se reducirán los recursos alimentarios de los predadores que cazan estas especies y la población se vendrá abajo. Al mismo tiempo, podría suceder que otras especies víctimas de estos predadores tuvieran mejores posibilidades de supervivencia, lo que conduciría a un aumento de su población. Una sola tormenta, por tanto, podría disparar el crecimiento de unas especies mientras que reduciría radicalmente otras.

El equilibrio se pierde temporalmente cuando fluctúa la población de diferentes especies. Al final, sin embargo, después de oscilar alrededor del punto de equilibrio, éste se restaura; hasta que interviene otra perturbación externa. Como las comunidades ecológicas tienen escasísimas oportunidades de disfrutar de largos periodos de calma, sin sufrir ataques externos, las poblaciones están fluctuando casi siempre. El ejemplo clásico de la literatura ecológica es la historia reciente del lince canadiense. Durante más de dos siglos, entre 1735 y 1940, este animal se cazó por su piel, de modo que gracias a los registros de pellejos acumulados por las empresas comerciales los ecólogos dispusieron de un arsenal de datos sin precedentes para estudiar la historia de la población de la especie. En los datos se percibe con claridad una pauta de trazos firmes que revela que los linces vivieron espectaculares episodios de prosperidad y depresión. Por ejemplo, entre 1830 y 1910 la población llegaba a su máximo cada nueve o diez años, tras lo cual se hundía rápidamente. La pauta se repitió con alguna regularidad, aunque los máximos de población variaban mucho, entre diez mil y sesenta mil individuos. Cuando los ecólogos analizaron este historial, supusieron que la pauta se debía a la interacción predador-presa, entre el lince y la liebre ártica, su presa principal. Cuando un predador deja la población de presas en niveles muy bajos, su recurso alimentario se reduce espectacularmente y la población

predadora mengua igualmente. Reducido el apremio de la predación, la población de presas puede recuperarse, con la población predadora pisándole los talones. Esta oscilación regular es la impresión que daba la relación entre el lince canadiense y la liebre ártica.

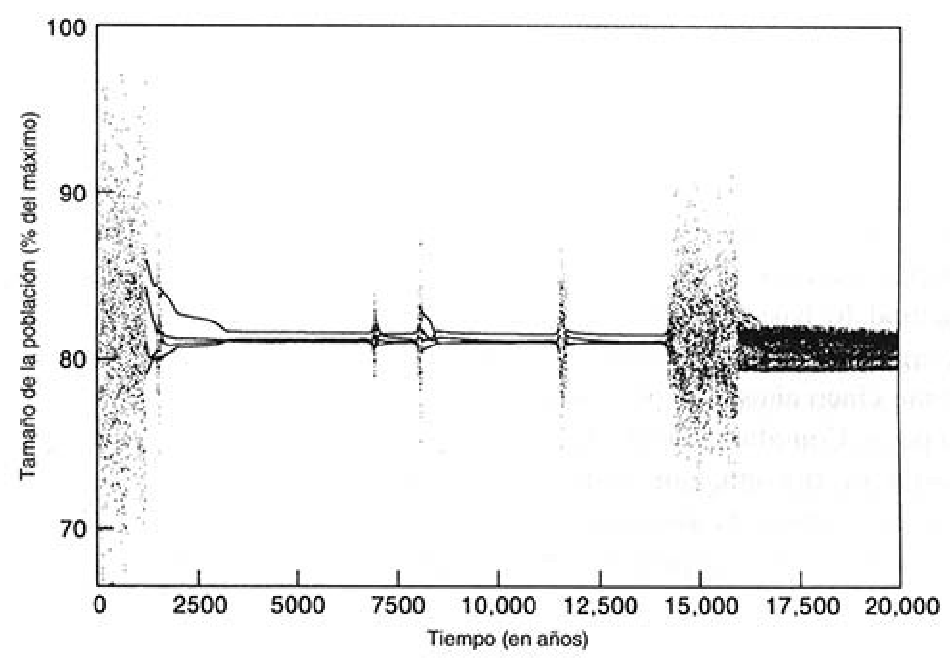


El caso del lince es un ejemplo clásico de especie cuya población oscila regularmente, según se ve en el gráfico. Antaño se creía que los linces eran miembros de una asociación dinámica e inestable con su presa principal, la liebre ártica. En los últimos años se ha comprobado que el motor del ciclo es por el contrario la interacción entre las liebres y las plantas de que se alimentan, y que los linces se dejan llevar más o menos pasivamente por los cambios que se producen en la población de liebres.

Resulta que no era tan sencillo. La población de liebres variaba de tamaño a causa de las fluctuaciones que se producían en su propia fuente alimentaria, y la población de linces se limitaba a sufrir las consecuencias. Este guión tiene lógica y además ampliaba la cadena de la interacción. Aun así, la pauta no era del todo regular, incluso parecía aleatoria en algunos tramos. La verdad es que esta combinación de regularidad y azar aparente es típica de las fluctuaciones poblacionales de muchas especies. Las plagas de insectos siguen esta pauta, al igual que las erupciones poblacionales de erizos de mar en el Atlántico noroccidental y del cangrejo *Cancer magister* del noroeste del Pacífico. Se mire donde se mire, en las comunidades ecológicas no sólo vemos que las poblaciones fluctúan, sino también el azar aparente de las fluctuaciones. Del plancton marino a los elefantes, de las polillas a los ratones, el cuadro es el mismo. ¿Cómo se explica esto desde el punto de vista del equilibrio de la naturaleza y el poblacional? La respuesta es sencilla: todo lo que se ve en la historia de las poblaciones (su regularidad, o el azar aparente, o cualquier combinación de ambos) se cree que es resultado directo de fuerzas externas, como los cambios climáticos. Que la historia poblacional sea a veces imprevisible refleja la complejidad de tales perturbaciones. Por lo menos es lo que se dice.

Esta interpretación comenzó a ponerse en duda hace unas dos décadas. Algunos ecólogos especularon en el sentido de que las pautas las podría producir algo relacionado con la dinámica interna de las mismas comunidades ecológicas. Podría ocurrir que el azar aparente no fuera azar en definitiva, sino más bien un aspecto del fenómeno denominado caos. Cuando de un sistema se dice que es caótico, la mayoría entiende automáticamente que es puro azar, que no se puede determinar ni analizar su imprevisible comportamiento. Pero quien haya leído *Caos*, de James Gleick, sabe que los matemáticos han encontrado últimamente sistemas que, aunque inconstantes e imprevisibles, no son aleatorios. El comportamiento de estos sistemas se puede describir a menudo con ecuaciones matemáticas sencillas. Lo paradójico es que, aunque regido por leyes matemáticas, el comportamiento del sistema puede ser tremendamente complejo y prácticamente imposible de prever. Tal podría ser una definición tosca y elemental de lo que los matemáticos llaman caos determinista.

Sistemas así se han identificado ya y se han analizado en muchos sistemas físicos, como las pautas climáticas y las turbulencias en el flujo de fluidos. Pocos saben, sin embargo, que la fluctuación de las comunidades ecológicas estuvo entre los primeros fenómenos que se analizaron como causas potenciales de comportamiento caótico. Lo hizo Robert May hace más de veinte años y lo describió en un artículo que publicó en *Nature* y que hoy es un clásico. Los biólogos no se han dado prisa por seguir el camino abierto por May, en parte a causa de su fuerte apego a la idea de equilibrio natural y poblacional, y en parte porque los sistemas biológicos de esta clase son mucho más complejos y difíciles de analizar que cualquier sistema físico. Como dijo May en otra ocasión, «para algunos ecólogos, el caos tiene algo de magia negra».[95] Obsesionados por la idea de equilibrio, los ecólogos continuaron buscando pruebas que lo confirmaran, mientras por sistema pasaban por alto el comportamiento imprevisible que implicaba que lo que ocurría era otra cosa.



En el diagrama vemos la historia, simulada informáticamente, de una población de *Cancer magister*. Adviértase que de vez en cuando el tamaño poblacional fluctúa mucho, aunque no esté presente ningún estímulo externo. Es un ejemplo de la inesperada e imprevisible propiedad del caos en los sistemas vivos. (Por gentileza de Alan Hastings y Kevin Higgins.)

Hace dos o tres años, sin embargo, se descubrieron por fin, mediante experimentos de campo y modelos teóricos, pruebas de auténtico comportamiento caótico en las comunidades ecológicas. Estamos ya obligados a tener una muy diferente concepción del mundo natural y de lo que traza las pautas que vemos y vivimos. Aunque sea muy contraria al sentido común y sea, en consecuencia, difícil de aceptar.

Hacia 1985, el ecólogo David Tilman, de la Universidad de Minnesota, se planteó el siguiente problema: ¿cómo afectaría el nivel de nitrógeno en el suelo al crecimiento de determinadas plantas? Cuando preparó el experimento no buscaba fenómenos caóticos, pero tenía una actitud lo bastante abierta para reconocerlos en cuanto aparecieron. Con bajos niveles de nitrógeno, el ritmo de desarrollo era uniforme durante cinco años, sin que importara si las semillas se esparcían mucho o poco. Con altos niveles de nitrógeno, sin embargo, aparecía un cuadro muy distinto, que contenía los clásicos indicios del comportamiento caótico: la alternancia caprichosa e imprevisible de momentos de prosperidad y depresión. En cierto punto, la población vegetal descendió a 1/6000 de su anterior nivel, casi perdiéndose en el olvido. La explicación de lo que sucedió realmente en el campo parece una frivolidad. El alto nivel de nitrógeno catapultó un rápido y frondoso tapiz vegetal, éste murió en invierno y dejó tras de sí una gruesa capa de hojarasca que obstaculizó el crecimiento en la primavera siguiente; de aquí la pauta de la prosperidad y la depresión, con variaciones de intensidad. Un crecimiento más moderado, alimentado por moderados niveles de nitrógeno, produciría una historia poblacional más

uniforme. Cuando Tilman publicó estos resultados a fines de 1991, causó una mezcla de consternación y expectativa apasionante.

Se trata de una parcela de los estudios ecológicos donde el trabajo teórico es intensivo y no se relega al último lugar, porque los experimentos con la naturaleza que dirigió Tilman son difíciles de preparar y de llevar a cabo. Como ya dije, la manipulación experimental de ecosistemas entraña varias dificultades. El mismo año en que Tilman informó de sus hallazgos, Robert May y dos colegas publicaron los resultados obtenidos con un modelo matemático (de un parasitoide y su anfitrión) que se comportaba de un modo muy parecido al sistema de Tilman. Dicho modelo revelaba las oscilaciones de una población caprichosa durante un periodo de muchas «generaciones» a causa de la interacción entre las «especies», sin ninguna perturbación externa. El modelo describía las especies y su interacción mediante ecuaciones matemáticas. La compleja dinámica del sistema fluía del interior; no venía impuesta desde fuera. Igualmente importante es que el comportamiento presuntamente caprichoso e imprevisible se derivaba de relaciones matemáticamente sencillas; es la firma del verdadero caos. En fecha más reciente, Alan Hastings y Kevin Higgins, de la Universidad de California-Davis, vieron algo parecido en el modelo que prepararon sobre poblaciones de *Cáncer magister*. Aplicando una vez más ecuaciones matemáticas sencillas, los investigadores describieron la especie y su desarrollo en un fragmento de costa teórica. Y una vez más, el comportamiento era caprichoso e imprevisible, con periodos de estabilidad y periodos de fluctuaciones poblacionales disparatadas. «Las erupciones poblacionales podrían ser un rasgo subyacente de la dinámica, sin cambios en las condiciones físicas o biológicas», observaron en el artículo que publicaron en *Science* a principios de 1994.[96]

La demostración práctica de que el tamaño de una población puede variar de manera espectacular e imprevisible a consecuencia de interacciones generadas dentro del sistema, sin que intervengan cambios exteriores, significó un paso muy importante en el conocimiento de las pautas que vemos en el mundo natural. «El concepto de caos es estimulante y al mismo tiempo un poco amenazador», han señalado William Schaffer y Mark Kot, dos ecólogos de la Universidad de Arizona que han hecho mucho por fomentar el estudio del caos en los ecosistemas. «Por un lado presenta una alternativa determinista a la idea de que las fluctuaciones poblacionales son producto exclusivo de perturbaciones exteriores. Por otro, podría socavar el marco conceptual de la ecología contemporánea.»[97] No hay duda de que los nuevos datos machacarán los conceptos ecológicos, pero desde el punto de vista de la biodiversidad, el caos es una fuerza positiva. Como ya he explicado, las comunidades estables pueden acabar dominadas por una o varias especies. Por el contrario, las fluctuaciones poblacionales pueden hacer que las comunidades produzcan niveles superiores de diversidad. Vemos, por tanto, que el comportamiento

caprichoso que fluye de la dinámica interna de las comunidades ecológicas es una fuerza que fomenta la diversidad.

Aunque el descubrimiento fue sorprendente, parece que el caos tiene reservadas más sorpresas a los ecólogos. Comencé este capítulo describiendo el aspecto de parcheado de muchas comunidades, donde los retales son comunidades ecológicas parecidas pero diferentes. La explicación convencional de las diferencias es que reflejan pequeñas pero importantes variaciones que se producen en las condiciones físicas del entorno. El caos permite otra explicación. En su modelo de las asociaciones de parásito-huésped, Robert May y sus colegas descubrieron no sólo que el tamaño de las poblaciones fluctúa en el tiempo, sino que su distribución en el espacio puede ser desigual, como los retales del parcheado. Trabajando con modelos de tres especies o más repartidas en un paisaje teórico uniforme, descubrieron que con frecuencia la dinámica de la interacción mantenía las especies separadas. «En su punto extremo… (generaba) “islas” pequeñas y relativamente estáticas en el interior del hábitat, que parecían bolsas aisladas de un hábitat generoso», apuntaron en el artículo que publicaron en *Nature* en verano de 1994.[98]

Es normal que haya variación en la distribución de las especies en los hábitats (como los árboles en los bosques y las flores en los prados) y se ha explicado por las diferencias en las facultades competitivas y de dispersión, que son parte de la respuesta a las pautas de las condiciones físicas del hábitat. Desde la insensata perspectiva de la teoría del caos, esta solución es ya imperfecta. El aspecto de parcheado que vemos en el mundo podría proceder de la dinámica interior de los ecosistemas, incluso cuando el terreno en que viven las diferentes comunidades es exactamente el mismo.

Vemos ya, por lo tanto, que no hay equilibrio en el mundo natural; que éste no es una «máquina coordinada» que busca a toda costa el equilibrio. Es algo mucho más interesante. No puede negarse que la adaptación a las condiciones físicas locales y a fuerzas exteriores como los acontecimientos climáticos contribuyen a dar forma al mundo que vemos. Pero también es ya evidente que buena parte de la pauta que reconocemos (en el tiempo y en el espacio) procede de la naturaleza misma. Es una idea fascinante, aunque venga a dificultar más aún el trabajo de los responsables de la conservación. Antaño se creía que la población se podía controlar cuantitativamente manipulando, hasta donde era posible, las condiciones externas. Esta opción ya no es tan viable como se pensaba. Es mucho mejor comprender y aceptar el mundo natural con su variedad infinita y sus procesos infinitamente complejos, y admitir la inutilidad de los intentos de gobernarlos, que creer por ignorancia que pueden gobernarse.

En 1789, un cura del sur de Inglaterra, el reverendo Gilbert White, publicaba un librito maravilloso que se titulaba *The Natural History of Selborne*. Cuarto entre los

libros en lengua inglesa que más veces se han reeditado, el pequeño volumen de White es una serie de agudas observaciones sobre la naturaleza de la zona donde vivía y ejercía su ministerio. El interés por el comportamiento de las especies particulares se remonta por lo menos a la época de Aristóteles, pero el reverendo White fue el primero en estudiar las especies en tanto que miembros integrados en comunidades. Como es lógico, no empleaba el lenguaje de la moderna ecología de comunidades; no hablaba de asociaciones, de redes alimentarias ni de niveles tróficos. Pero su perspicacia para advertir las interacciones entre las especies, con sus diferentes niveles de interdependencia, apunta directamente a la cuestión más candente de la moderna ecología de comunidades: ¿qué rige el proceso por el que una comunidad ecológica es como es? La primera respuesta es una dicotomía sin paliativos: o es por designio o es por casualidad. Para ser más concretos podríamos preguntar: ¿hay algo especial en las especies de una comunidad particular de modo que ésa y sólo ésa sea la asociación óptima de especies para ese hábitat? En otras palabras, ¿qué orden subyace en la «abigarrada orilla» de Darwin?

No es fácil de responder mirando el mundo real, porque la escala (temporal y espacial) de los ecosistemas impide los análisis fáciles. Por este motivo, buena parte de la investigación pionera en ecología de comunidades se hace con ordenadores, donde los investigadores trabajan con ecosistemas experimentales. Son sistemas sencillos en comparación con los del mundo natural, pero en los últimos años han emitido mensajes contundentes que, al igual que las consecuencias del caos, son claramente contrarios al sentido común.

Por ejemplo, hace una década Stuart Pimm y Mac Post, de la Universidad de Tennessee, procedieron a ensamblar uno de estos ecosistemas, añadiendo una especie de vez en cuando (plantas, herbívoros y carnívoros). Cada especie tenía una descripción matemática y una serie de comportamientos que comprendían el tipo, el tamaño y sus necesidades territoriales y alimentarias. Pimm y Post reprodujeron básicamente en un ordenador lo que sucede en la naturaleza cuando se coloniza un territorio virgen, por ejemplo tras un incendio o la emergencia de una isla volcánica. Una comunidad ecológica se ensambla con lentitud en un proceso denominado sucesión; comienza por los organismos más simples que pueden medrar en un hábitat empobrecido y de manera gradual va admitiendo más especies que puedan depender de las ya presentes. No veremos herbívoros hasta que hayan arraigado las especies vegetales, por ejemplo; y no veremos predadores hasta que medren las especies presa.

En el modelo informático las especies se añadían a la comunidad de manera aleatoria. La intención no era construir una comunidad concreta; por el contrario, la idea era dejar que una comunidad se desarrollara como quisiese. Y, tal como ocurre en la naturaleza, las especies vegetales tuvieron que instalarse antes que los herbívoros y que los predadores de herbívoros. La dinámica de la construcción de la

comunidad fue totalmente asombrosa. Al principio se podían añadir especies con facilidad (siempre que fueran ecológicamente compatibles). Pero conforme la comunidad aumentaba de tamaño (es decir, el número total de especies), crecían las dificultades de integración de las últimas especies que llegaban. Cuando el ecosistema tuvo alrededor de doce especies, la invasión se volvió muy difícil y, cuando se consumaba, solía ocasionar la pérdida de una o más especies ya instaladas. Esta situación recuerda la metáfora darwiniana de la cuña, en la que las especies se concebían en un prieto paquete y en la que el empuje de una cuña recién llegada desalojaba otra ya instalada. Lo que veían Pimm y Post era, en términos ecológicos, el triunfo de las especies foráneas que invaden una comunidad ya existente y los efectos que tiene sobre ésta. Resultaba fácil vencer en las comunidades pobres en especies y difícil donde las especies eran muchas. El ecólogo británico Charles Elton había sugerido hacía ya tres décadas que en la naturaleza se vería esta pauta. Pero ¿por qué?

Una explicación tradicional dice que, conforme aumenta el número de especies de la comunidad, se van llenando los nichos ecológicos. A un invasor potencial le costará más instalarse en un nicho ya ocupado que en otro vacío. En el primer caso parece que el invasor, para integrarse en la comunidad, tendría que competir y vencer a las especies ya instaladas; en el otro no necesita competir. Este razonamiento parece ecológicamente lógico, pero por lo visto es falso. El problema, para el invasor potencial, no es la especie instalada en el nicho que prefiere, sino la comunidad en conjunto. Esto se vio con claridad en el modelo informático de comunidades que construyó Ted Case, de la Universidad de California-San Diego. Construyó varias comunidades informáticas diferentes y en todas manipuló el grado de interacción entre las especies; en unas había mucha interacción y en otras poca.

«Las comunidades de muchas especies con mucha interacción limitan las posibilidades invasoras de la mayoría de especies», dijo a propósito de sus resultados. «Estas comunidades, incluso cuando se trata de un invasor muy competitivo, forman una especie de "barrera de activación" que repele a los competidores cuando éstos invaden en pequeño número.»[99] Si la hipótesis del nicho fuese verdadera, sería de esperar que un invasor potencial competitivamente superior a una especie instalada consiguiera sus propósitos. Sin embargo, no es así. Las comunidades de especies con interacción intensa son menos vulnerables a las invasiones de especies foráneas que las especies con escasa interacción, incluso cuando el presunto invasor es un competidor superior. «Estos modelos indican que lo que determina con más contundencia las diferencias en el índice de invasiones consumadas es el nivel de la comunidad y no las propiedades del invasor», concluía Case.[100] Si está en lo cierto, el resultado es de extrema importancia, no sólo para conocer mejor la dinámica de los ecosistemas, sino también para los fines conservacionistas. Los responsables de la

conservación se enfrentan con frecuencia a la circunstancia de tener que conservar una especie de una comunidad que es competitivamente inferior a otra especie foránea invasora. Los modelos de Case sugieren que el competidor inferior tiene las mejores posibilidades de supervivencia si la comunidad a que pertenece es abundante en especies, esto es, si está intacta y sin conflictos. Impedir las perturbaciones de la comunidad en conjunto da por tanto seguridad a sus miembros más débiles, creando en su seno una red protectora.

La expresión «red protectora» tiene una inconfundible connotación mística, de modo que tenemos que saber de dónde procede. La respuesta dice que de las redes alimentarias, que han sido descritas como «los mapas de carreteras de la famosa orilla abigarrada de Darwin… (que indican) cómo se agrupa una comunidad y cómo funciona».[101] Los mapas revelan las interacciones entre especies de la comunidad, por ejemplo quién se come a quién. Estos mapas tienen fascinados a los biólogos desde hace mucho tiempo. Las pautas de la red alimentaria parecen a menudo absurdamente complejas, y al principio los biólogos creían que cada comunidad tenía una red alimentaria única. Cuando atravesaron las complejidades de superficie, sin embargo, acabaron por darse cuenta de que todas las redes alimentarias son muy parecidas, sin que importe a qué clase de comunidad pertenecen, y despliegan el mismo puñado de escasas propiedades comunes. Estas comprenden la longitud de las cadenas alimentarias (esto es, una descripción de quién consume a quién en la comunidad) y la proporción de especies predadoras por especies presa. Se mire donde se mire, se verán pautas parecidas. Que este comunalismo se observe entre comunidades dispares, incluso donde la variedad es potencialmente ilimitada, sugiere algo básico para el orden que subyace en la naturaleza: que el orden parece surgir de la dinámica interior del sistema mismo y que no viene impuesto por circunstancias exteriores.

Las interacciones entre especies que manipuló Ted Case en su modelo informático representan redes alimentarias del mundo real. La red protectora que vimos en las comunidades con interacción intensa puede explicarse, por tanto, como propiedad de la pauta subyacente de la red alimentaria. No hace falta recurrir a ninguna fuerza mística para explicar la observación, contraria al sentido común, que formuló.

Los ecosistemas que tomaron forma en los modelos informáticos de Stuart Pimm y Mac Post revelaban redes de interacciones entre especies que se parecían mucho a las pautas de la red alimentaria del mundo real. Se reforzó así la seguridad de que, aunque sencillos, los modelos eran verdaderos. También permitió conocer otras cosas. El primer resultado, recuérdese, fue que las comunidades pobres en especies

podían verse invadidas con facilidad, mientras que ante comunidades ricas en especies era más difícil cantar victoria. Difícil, pero no imposible. Si se permite madurar a una comunidad rica en especies, no permanece estática, sino que experimenta un lento recambio. En otras palabras, algunas invasiones se consuman, por lo general causando la pérdida de especies existentes; la composición de la comunidad es dinámica, no estática. Una especie que prospera, sin embargo, puede resultar víctima en una invasión posterior y ser expulsada de la comunidad. Pero su presencia transitoria deja una impronta en la comunidad, como la huella de un pie en la arena. El segundo resultado del trabajo de Pimm y Post fue en consecuencia que las comunidades ricas en especies, maduras, son mucho más difíciles de invadir que las recién instaladas. Parece, pues, que hay algo en el proceso de maduración que fortalece la red protectora que se está formando en el seno de la comunidad. La comunidad parece perfeccionarse sola, casi como si intencionadamente quisiera ser mejor en un sentido difícil de concretar.

Este resultado no es en absoluto una ocurrencia caprichosa de un misterioso modelo informático, ya que en la naturaleza sucede exactamente lo mismo. En Hawai, por ejemplo, hay dos tipos de ecosistema. El primero es el bosque de montaña, no afectado por la interferencia humana. Representa, pues, el ecosistema rico en especies, maduro. El segundo es el bosque de llanura, que ha sido turbado por la actividad humana por dentro y en derredor. Mientras se recupera conoce una inmadura fase de agrupación, aunque sea rica en especies. Como el archipiélago se ha colonizado muchas veces desde que llegaron los primeros pobladores polinesios, hace mil quinientos años, con los visitantes, casuales y no casuales, llegaron también muchas especies foráneas. Por ejemplo, en Hawai se han introducido más especies de aves y plantas que en ningún otro lugar del mundo. El veintiocho por ciento de los insectos y el sesenta y cinco por ciento de las plantas del archipiélago son de importación. Todos sus mamíferos son recién llegados. Hace unas tres décadas, en *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*, Charles Elton describió la situación hawaiana diciendo que era «una de las grandes complicaciones de la historia de la fauna y la flora del mundo». Cada vez que una especie foránea conseguía instalarse, reducía el tamaño poblacional de las especies indígenas o condenaba a muerte a un buen número. Pero ¿dónde se instalaban las especies foráneas?, ¿en los inmaduros sistemas de las tierras bajas o en los maduros ecosistemas de montaña? La respuesta acertada, por abrumadora mayoría, es en los primeros. Evidentemente, los ecosistemas maduros podían contener la invasión mejor que los inmaduros. En términos de teoría ecológica, los ecosistemas maduros habían alcanzado un estado de persistencia.

Está claro que las comunidades maduras (del mundo real o del informático) tienen importantes propiedades ecológicas que faltan en las inmaduras. La deducción

que salta a la vista es que durante el proceso de agrupación se seleccionan especies que son superiores en ciertos aspectos. Superiores, por ejemplo, en productividad, en el caso de las especies vegetales; en velocidad y sigilo, en el de las especies predadoras, etcétera. Así pues, una comunidad de especies superiores será ecológicamente superior a otra formada por especies inferiores. No obstante, cuando Pimm y Post analizaron en el modelo informático el comportamiento característico de las especies de las comunidades persistentes, no encontraron ningún indicio de superioridad. En términos ecológicos, estas especies no eran diferentes de las que no habían conseguido integrarse en la comunidad. Tal vez, comentaron, durante la observación se equivocaran de parámetros.

Pero no se habían equivocado, como se supo cuando otro ecólogo, Jim Drake, a la sazón en la Universidad Purdue (West Lafayette, Indiana), construyó un modelo informático parecido. Al igual que Pimm y Post, Drake compuso una comunidad ecológica introduciendo especies al azar, de una en una. Pero Drake las cogió todas de una reserva finita de especies, 125 en total. Si una especie no conseguía introducirse en una ocasión, se dejaba en situación de disponible para otro intento. Una vez más, la comunidad persistente maduró con alrededor de una docena de especies. Drake comenzó entonces desde el principio, sirviéndose de la misma reserva de especies y maduró otra comunidad persistente con alrededor de una docena de especies. Pero salió una comunidad diferente. Las dos comunidades tenían en común menos de la mitad de especies. Drake repitió el proceso docenas de veces y cada vez que se formaba una comunidad persistente madura, su composición era distinta de las anteriores. Tampoco aquí había, entre las especies de la comunidad, ninguna que pudiera considerarse «mejor», en ningún sentido, que las que se quedaban en la reserva. Si se introducía en el momento idóneo, cualquier especie podía ser miembro de una comunidad persistente.

Estos resultados son tan fascinantes como importantes. Ante todo vemos que, mediante un proceso de introducción aleatoria de especies, pueden formarse comunidades persistentes. En segundo lugar, la propiedad de la persistencia, o estabilidad, ecológicamente crucial, surge de las interacciones de las especies de la comunidad y no en virtud de sus cualidades superiores. Igual de significativas, o incluso más, son las consecuencias de estas observaciones para el carácter de parcheado de la naturaleza. Ya vimos más arriba que las diferencias entre ecosistemas vecinos se han explicado tradicionalmente diciendo que es una respuesta a las diferentes condiciones físicas. También vimos que la teoría del caos nos induce a esperar el parcheado, incluso cuando no hay diferencias físicas en el entorno. Ahora, con los resultados de Pimm, Post y Drake, tenemos otro origen para el parcheado que tampoco registra la adaptación a las condiciones locales: la historia. Está claro que la composición final de un ecosistema persistente depende del orden en que las especies

tratan de integrarse en el sistema que está madurando. Llegar temprano al lugar de los hechos dará ventajas unas veces; otras será mejor llegar al atardecer. Todo depende de qué especies formen ya parte de la comunidad. Ya vimos en otro capítulo que la historia, o la contingencia histórica, se está reconociendo como un poderoso responsable de la trayectoria evolutiva, mientras que la adaptación desempeña un papel inferior al que se le adjudicaba antaño. Aquí estamos ante una situación semejante, con la historia como un poderoso responsable de la forma de la evolución de los ecosistemas, mientras que la adaptación interpreta un papel menor. Es una forma de ver la naturaleza que difiere del enfoque tradicional.

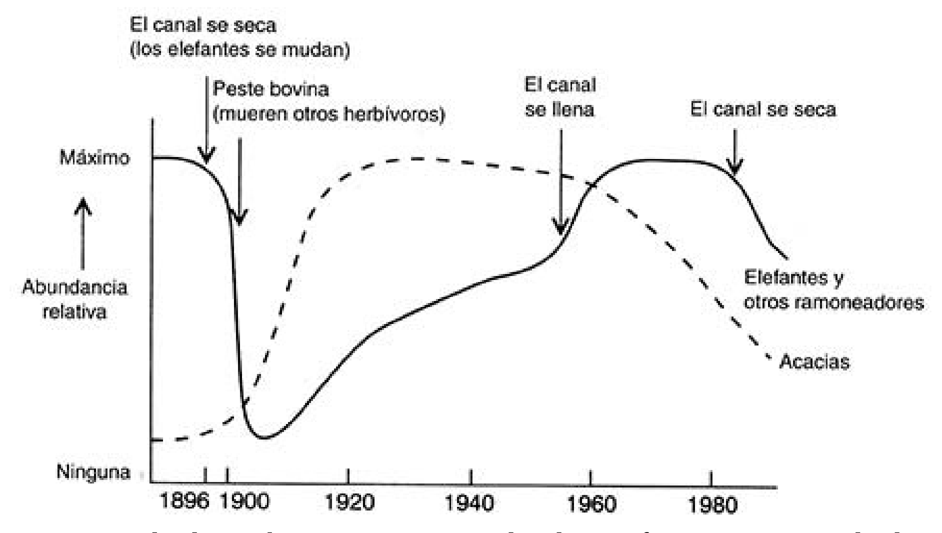
Siempre que sea verdadera, claro. Jim Drake la puso a prueba experimentalmente, haciendo con microorganismos (sobre todo algas de varios tipos) lo que venía haciendo con especies informáticas. Introdujo especies al azar y obtuvo muchas comunidades persistentes distintas. La historia cuenta. Hace poco, dos paleontólogos publicaron un enfoque de este fenómeno desde el registro fósil. Martin Buzas y Stephen Culver, del Instituto Smithsoniano y el Museo de Historia Natural de Londres, observaron la composición de las comunidades marinas costeras del litoral atlántico de Norteamérica durante cincuenta y cinco millones de años, en el transcurso de los cuales subió y bajó seis veces el nivel del mar. Seis veces se formaron comunidades nuevas en el hábitat costero, surgidas de la reserva de especies de la zona. Y las seis veces la composición de las comunidades fue diferente. Al comentar estos datos, dijo el ecólogo Jeremy Jackson, del Instituto Smithsoniano: «Es sin duda el toque de difuntos para la idea de las comunidades ecológicas marinas estrechamente integradas».[102] Lo es, y es asimismo un voto en favor de la importancia de la contingencia histórica.

Si estos resultados parecen contrarios al sentido común, más lo parece la observación que Jim Drake se hizo a sí mismo: «Las comunidades persistentes que formo con el modelo informático funcionan muy bien. Pienso coger una comunidad de éstas y reconstruirla desde cero, utilizando sólo la docena de especies que la formaban». No lo consiguió. En cuanto desmembraba una comunidad, ya no podía reconstruirla, introdujera las especies en el orden que las introdujera. Stuart Pimm lo llama «efecto Humpty Dumpty» y no le falta razón. La explicación es matemática y un poco abstrusa, pero viene a decir que, para alcanzar el estado persistente Z, el ecosistema tiene que pasar por estados intermedios, de *A a Y*. No se puede llegar a Z directamente. Aunque parece la típica ocurrencia que suele oírse en el bar a última hora de la noche después de un simposio sobre ecología, no lo es. Actualmente hay un creciente interés por restaurar los ecosistemas degradados o destruidos. Las praderas del Oeste Medio y las Everglades de Florida son dos ejemplos. En este y otros casos, los ecólogos suelen conocer la composición de las comunidades originales por los documentos históricos. Hasta que se consiguieron los resultados

que acabo de exponer (y que siguen concretándose), los ecólogos se limitaban a reunir las especies necesarias para el ecosistema que pensaban restaurar y a dejarlas en el hábitat señalado. Se quedaban desconcertados al comprobar una y otra vez que la cosa no funcionaba. Ahora sabemos por qué.

Ya hemos visto que la naturaleza no es lo que parece. Que en las comunidades ecológicas hay una dinámica contraria al sentido común y cuya existencia, por tanto, era insospechada. Las comunidades están en transformación constante, con la intencionalidad aparente de perfeccionarse, pero por lo que actualmente sabemos la casualidad y la historia desempeñan un papel importante. Terminaré este capítulo contando el caso de un ecosistema real que pone de manifiesto esta dinámica: no sólo muestra la importancia de la transformación en el tiempo sino que servirá de orientación a los conservacionistas en ciernes.

El Parque Nacional de Chobe, en Botsuana septentrional, es un ejemplo típico entre una variedad de ecosistemas del sur y el este de África. Hay allí muchos herbívoros grandes, algunos migratorios, entre los que se cuentan la jirafa, el búfalo, el elefante, la cebra, el ñu y el y el impala. Los leones, las hienas, los licaones y los chacales forman un amplio espectro carnívoro. Un hábitat de pastizales y bosques de acacias cobija un rico muestrario de especies de aves e insectos. Además, el parque presenta una abundante diversidad de especies que acuden a las mientes de todos cuando oímos la palabra fauna. A los responsables del parque les gustaría conservar tal diversidad, porque es atractiva para los turistas y porque creen que es así como debería ser. Tienen ante sí, sin embargo, un serio problema: los bosques de acacias se están destruyendo, sobre todo por obra de los elefantes, y no crecen más árboles. Si los bosques se reducen hasta ser simples recuerdos de lo que son actualmente, los administradores pensarán que han fracasado, ya que quieren mantener las cosas como están. Sin embargo, tal planteamiento no sólo es un error ecológico, sino también, seguramente, un deseo imposible. Un vistazo a la historia ecológica del parque explica por qué.



Casi todos los ambientes pasan por ciclos de transformaciones, impulsados por fuerzas interiores y exteriores, como puede verse en la historia del Parque Nacional de Chobe, Botsuana. (Gentileza de Brian Walker.)

El canal de Savuti es la principal fuente de agua superficial que hay en la zona. Cuando está lleno, baja de Angola, pasa por los pantanos de Linyanti y desagua en el marjal de Savuti (que en la actualidad es tierra de pastos). Estaba lleno a finales de la década 1800-1810, se secó a principios de este siglo y seco permaneció hasta mediados de los años cincuenta. En 1982 volvió a secarse y así continúa. Poco después de que el canal se secara a comienzos de este siglo, se declaró una virulenta peste bovina en la zona. Estos dos acontecimientos fueron la partera que trajo al mundo los actuales bosques de acacias, y ocurrió como sigue. La falta de agua obligó a los elefantes a buscarla en otra parte (la caza redujo igualmente su número). Y la peste bovina diezmó la población de ungulados. En consecuencia, la demanda herbívora bajó radicalmente y los retoños de acacia (plato predilecto de muchos ramoneadores) pudieron madurar y hacerse árboles. Cuando volvieron los elefantes y ungulados, los bosques de acacias se habían aposentado ya por todas partes. «Lo que hoy vemos, la coexistencia de multitud de elefantes y grandes bosques de acacias, es una pequeña grieta en el tiempo y, por lo visto, es insostenible», comenta Brian Walker, que ha hecho un detallado estudio de la zona.[103]

No es sostenible porque mientras haya en la zona prósperas poblaciones de elefantes y ungulados ningún retoño de acacia vivirá para llegar a la madurez. Para que los bosques vuelvan a medrar habría que trasladar a los animales. «La cuestión», observa Walker, «es si los administradores y los turistas están preparados para pasar una temporada de diez a quince años sin ver prácticamente ningún animal.» Seguramente no. La actual diversidad de especies del parque es natural, nadie lo duda, pero procede de un importante cambio ambiental que sucedió hace varias décadas. Y a lo que los administradores suelen oponerse es precisamente al cambio; por lo menos es así como reaccionan cuando ven que algo de valor parece extinguirse. Los ecosistemas están en un incesante estado de agitación, en el espacio

y en el tiempo, y en cualquier momento puede decaer una población mientras otras prosperan. Y el cambio incesante es vital como propulsor de la diversidad de especies. «Los conservacionistas deberían preocuparse menos de la persistencia de tal o cual especie vegetal o animal», advierte Walker, «y pensar más en mantener el carácter y la diversidad de los procesos ecosistémicos».[104]

Pertrechados con los conocimientos adquiridos sobre el carácter de los ecosistemas, partiendo del conocimiento del caos y de la dinámica de la agrupación de comunidades, comprendemos que la petición de Walker tiene sentido. Pero, tal como sucede con todos los asuntos humanos, es muy difícil gestionar procesos que tardan décadas en consumarse. Y a nadie le gusta permanecer ocioso y ver cómo los bosques se reducen o los animales se mueren de hambre o de sed. En última instancia, sin embargo, podría ser la única solución.

10
Impactos humanos del pasado

La Tierra, durante casi dos millones de años, estuvo a merced de una oscilante racha de glaciaciones, produciéndose una alternancia de periodos de intenso frío glacial y periodos interglaciales cálidos. Los geólogos dan a esta época el nombre de Pleistocene, que terminó bruscamente hace entre doce y diez mil años y dio paso al Holoceno, es decir, la época actual. Cada vez que se pasaba de un periodo glacial a otro interglacial y viceversa, las comunidades vegetales del planeta sufrían violentas transformaciones. Cuando las temperaturas globales caían a plomo, las selvas tropicales se fragmentaban y reducían, y las selvas y bosques de latitudes altas emigraban hacia el ecuador. Como las especies animales dependen de las vegetales para sobrevivir, directa o indirectamente, también éstas emigraban, si podían. Al comenzar los periodos interglaciales, el proceso era al revés. El Pleistocene generó pulsaciones de agitación biótica global, a cámara lenta. No es de extrañar que la época fuera particularmente abundante en apariciones y extinciones de especies.

En el lado extinguible de la ecuación, sin embargo, había un curioso desequilibrio: las especies grandes, y en particular los mamíferos grandes (los que pesan más de cien kilos), eran particularmente vulnerables. Aunque la especie mayor que ha existido nunca, la ballena azul, vive actualmente, en el mundo de los vertebrados terrestres de los que formamos parte faltan gigantes superpesados como el mamut, el mastodonte, el dinoterio y el diprotodonte. La extinción de animales grandes que produjo el asimétrico zoológico global de nuestros días es un rasgo identificativo del Pleistocene, hecho que ha desconcertado a los paleontólogos durante siglos.

Pero las extinciones asimétricas de animales grandes pleistocénicos son una incógnita por motivos que van más allá de su simple cuantificación. Fuera del continente africano, casi todas las extinciones ocurrieron a fines del periodo y muchas en el final mismo, durante el (por ahora) último retroceso de los glaciares. En el continente americano, por ejemplo, desaparecieron cincuenta especies de mamíferos grandes durante los dos últimos millones de años; es decir, hasta hace unos doce mil años. Luego, en una breve y catastrófica sacudida, hace entre doce y diez mil años, entregaron su último aliento unas cincuenta y siete especies de mamíferos grandes. La coincidencia de su desaparición con la transición entre una glaciación y un periodo interglacial invita a sacar una conclusión obvia. Alfred Russel Wallace, coautor de la teoría de la evolución por selección natural, decía en 1876 que la causa de las extinciones se encontraba «en el reciente y gran cambio físico conocido como “época glacial”».[105] En otras palabras, Wallace creía que la perturbación

generalizada que sufrieron las comunidades vegetales a causa de la subida de las temperaturas planetarias fue excesiva para aquellos gigantes. Fueron incapaces de adaptarse a los nuevos entornos, decía, y en consecuencia murieron.

Wallace, sin embargo, cambió pronto de parecer y señaló otro culpable en potencia. En 1911 escribió: «Estoy convencido de que la rapidez de… la extinción de tantos mamíferos grandes se debe en realidad a la intervención del hombre».[106] Este cambio de opinión lo produjo su creciente convencimiento de que los efectos ambientales de la glaciación eran sin duda demasiado limitados para causar extinciones a la escala que conoció la época. Wallace no fue el primero que sugirió que las extinciones podían ser consecuencia de la «espectral aparición de la humanidad en un territorio limitado y no habitado hasta entonces».[107] Tiempo antes el geólogo escocés Sir Charles Lyell había advertido ya que la destrucción de especies por culpa de la cacería humana «es la primera idea que acude a las mientes de casi todos los naturalistas».[108] Hasta cierto punto estaba exagerando la cuestión, ya que los naturalistas a quienes se les había ocurrido esto no eran muchos. (Hacia 1850 todavía se polemizaba sobre los indicios de que los humanos hubieran coexistido con el bestiario pleistocénico, de modo que no tenía sentido concebir una hipótesis exterminadora.) Cuando Wallace se aferró a la idea de la extinción causada por el hombre a comienzos de siglo, la defendió con tesón. El centro de la polémica, sin embargo, siguió siendo el impacto climático contra el impacto humano.

El presente capítulo analizará el impacto humano en las comunidades ecológicas durante la historia reciente y no tan reciente, por lo general a consecuencia de la colonización de tierras donde no se conocía la presencia humana. El tema es importante por dos motivos. Primero, la colonización humana de tierras vírgenes es un ejemplo extremo de especie invasora y de las consecuencias de esta invasión en las comunidades existentes. Ya vimos que las comunidades maduras, ricas en especies, pueden poner freno a los intentos de invasión de casi todas las especies. Pero el *Homo sapiens* no es una especie corriente, pues sus tentativas de invasión casi siempre se consuman y casi siempre resultan devastadoras para la comunidad existente. Segundo, si tenemos que evaluar el impacto humano en el mundo natural de hoy, necesitamos una perspectiva histórica. El presente capítulo describe esta perspectiva.

La capacidad de la especie humana para devastar el mundo natural hasta el punto de causar extinciones importantes se consideró durante mucho tiempo como un fenómeno relativamente reciente. En la época de Wallace, los biólogos pensaban que la marabunta de las colonizaciones europeas del siglo XVII en adelante había dejado por todo el mundo un rastro de destrucción en la palpable armonía de la naturaleza.

Muchos sostenían que los colonos anteriores, como los polinesios diseminados por el Pacífico, eran inocentes en este sentido y formaban parte de dicha armonía. (La verdad es que los sentimientos occidentales hacia las sociedades tecnológicamente primitivas habían cambiado espectacularmente y, de ser unos animales bárbaros y groseros, se habían convertido en el buen salvaje de Rousseau.) Pero, como ha señalado Jared Diamond, biólogo de la Universidad de California-Los Ángeles, muchas sociedades preeuropeas pensaban lo mismo de sus predecesores. Hace dos milenios, por ejemplo, el poeta latino Ovidio escribía: «Primero vino la Edad de Oro, en la que los hombres eran sinceros y de rectos principios». No se refería sólo a la sinceridad y pureza de las épocas anteriores que se percibían cuando se comparaban con la iniquidad y el belicismo de la civilización griega, sino también a su presunta unidad con la naturaleza.

Cuando Wallace defendió la idea de que los cazadores humanos habían ocasionado muertes masivas en la fauna americana de mamíferos gigantes y de que, por extrapolación, podían haber sido responsables de las extinciones pleistocénicas en otros puntos del mundo, muchos pusieron reparos. Algunos estudiosos aún los ponen. No obstante, en los últimos años no se puede negar ya que la evolución del *Homo sapiens* estampó una perniciosa huella en el resto del mundo natural y tal vez desde el principio mismo. Como veremos, son muchos los medios por los que los humanos dejamos huella en el mundo en el que hemos evolucionado.

El capítulo comienza con la historia de las extinciones de finales del Pleistocene en el continente americano y lo que se puede aprender de ellas cuando se comparan con las de África y Australia. Se adentrará en la recentísima historia de Nueva Zelanda e identificará pruebas contundentes de extinciones de origen humano. Y describirá la fragilidad de los ecosistemas vírgenes de las islas del Pacífico, por ejemplo las islas Hawai cuando las colonizaron primero los polinesios primitivos y luego los europeos. El mensaje de la complejidad de los ecosistemas (su interconexión y su sensibilidad a las perturbaciones humanas) se repite por todas partes.

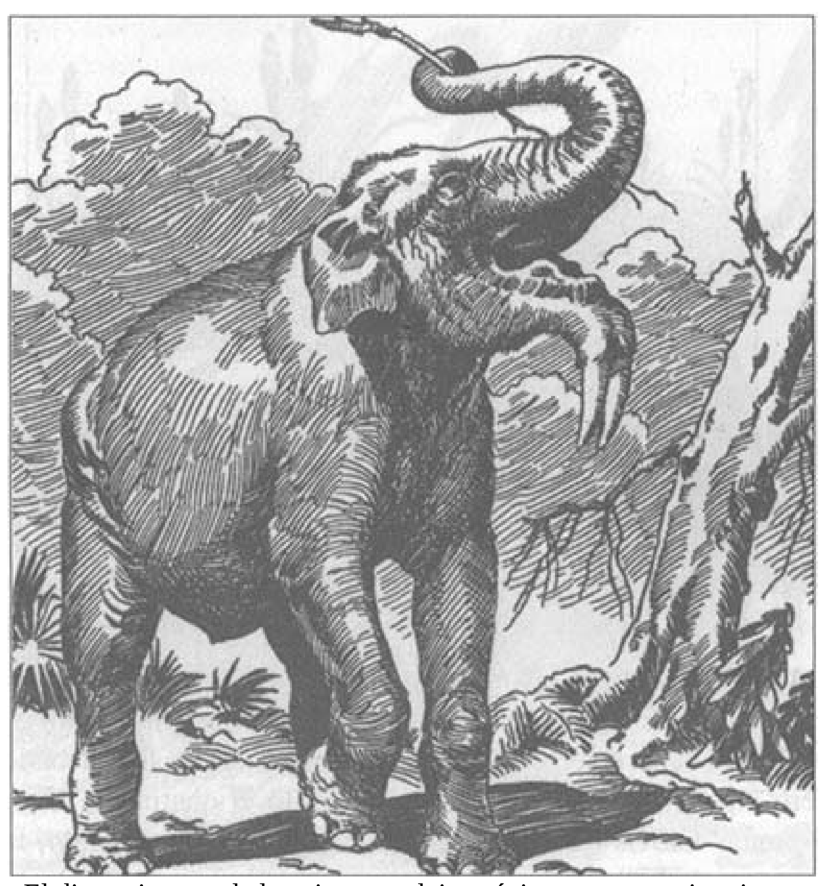
La América de finales del Pleistoceno era muy distinta de la actual, tan distinta que resulta prácticamente inconcebible. Casi dos tercios del subcontinente septentrional estaban cubiertos por una espesa capa de hielo formada por el casquete laurentino, al este, y el casquete de las Rocosas, al oeste, separados por un pasillo sin hielos. Al oeste del subcontinente meridional había una franja (buena parte de lo que hoy es Chile) igualmente sepultada por el hielo. Entre estas masas de hielo medraba una fauna zoológica de mamíferos grandes, entre ellos herbívoros como los elefantes, los mastodontes, los perezosos gigantes y los impresionantes gliptodontes, provistos de un caparazón protector colosal. Estas montañas andantes eran presa de leones,

osos gigantes y tigres de colmillos de sable, entre los que estaba el *Smilodon*, cuyos colmillos, de veinte centímetros de longitud, eran perfectos para esbozar la sonrisa de la muerte. También había criaturas menos exóticas, por ejemplo caballos y camellos. Durante un breve instante de tiempo geológico, hace entre doce y diez mil años, estos animales estuvieron entre las cincuenta y siete especies de grandes mamíferos parecidos que se extinguieron en Norteamérica, mientras en Sudamérica perecía una cantidad mucho mayor. Sólo desapareció un puñado de especies mamíferas pequeñas y las ratas y los ratones pasaron el periodo sin sufrir bajas.

La coincidencia de esta mortandad con el final de la glaciación está bien establecida y como causa resulta convincente. Pero hay unas cuantas hipótesis más precisas acerca de cómo se produjeron las extinciones. No basta con decir que las comunidades vegetales se hundieron en el desorden y que por tanto las especies animales se extinguieron. Fue uno de los motivos por los que Paul Martin, paleontólogo de la Universidad de Arizona, resucitó en 1967 la hipótesis del exterminio de Wallace y Owen, y llamó al fenómeno «el exterminio del Pleistocene». Argüía que el cambio climático no fue el único acontecimiento con que coincidió la extinción de fines del Pleistocene. Por entonces se estaba extendiendo por toda América una especie nueva de mamífero que se instaló en el norte hace unos 11.500 años (después de haber cruzado el seco estrecho de Bering, procedente de Asia) y que un milenio después, hace 10.500 años, llegó a la Tierra del Fuego, en el extremo sur de la América meridional. La especie era el *Homo sapiens*, un cazador consumado cuya habilidad predadora se había perfeccionado durante las decenas de miles de años que había pasado en África y Eurasia. Los arqueólogos llaman «hombre de Clovis» a aquellos primeros pobladores del Nuevo Mundo, por las perfectas puntas de proyectil que se descubrieron en 1927 en un pueblo de Nuevo México llamado Clovis.

Martin calcula que 350 años después de su entrada en América del Norte, los grupos primitivos del hombre de Clovis sumaban ya 600.000 individuos y se habían extendido hasta el golfo de México. Esta expansión explosiva se benefició de los recursos ilimitados (tierra y presas) que la naturaleza puso ante su inexorable avance. Antes de celebrar su primer milenio en el Nuevo Mundo, la población Clovis había llegado al extremo sur del continente y sumaba ya varios millones. Esta expansión de norte a sur dejó a su paso un rastro de destrucción, pues los cazadores mataban con facilidad presas de gran tamaño que no estaban acostumbradas a aquellos predadores recién llegados. Seguramente no sentían ningún temor innato hacia los humanos, como suele ocurrir en las regiones del mundo (islas por lo general) que han evolucionado sin conocer la presencia humana; es lógico que fueran vulnerables a aquellos eficaces cazadores. Éstos, a su vez, tampoco estaban acostumbrados a aquellas presas, de modo que tal vez se sintieran liberados de los escrúpulos que

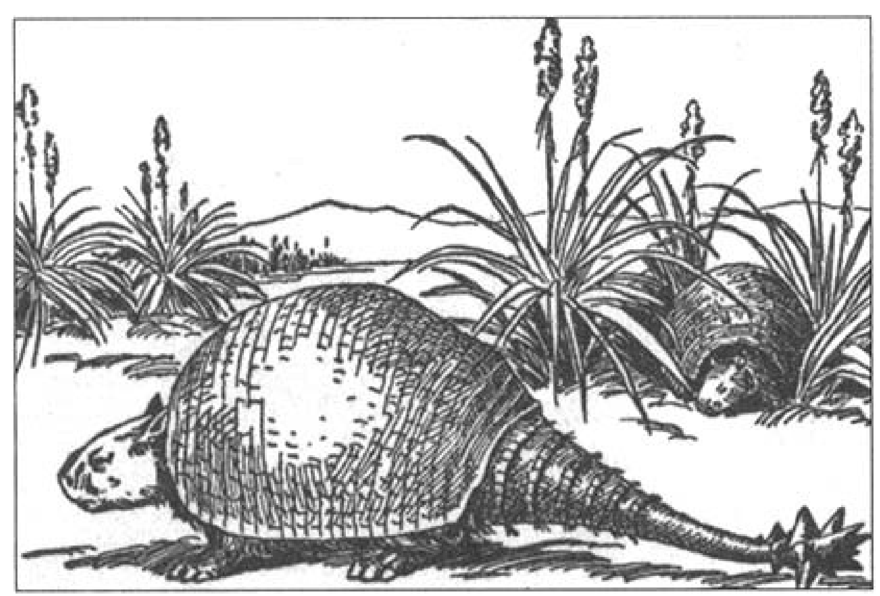
suelen sentir los cazadores contra las matanzas. Fue, arguye Martin, una combinación fatal, en sentido literal. Hay indicios en los huesos fosilizados de las especies víctima asociadas a menudo a las puntas de Clovis que se han encontrado por todo el continente. Según Martin, la dirección seguida por el mortífero hombre de Clovis puede verse en la cronología de los yacimientos de fósiles, los más antiguos en el norte, los más recientes en el sur. Sin embargo, no todos los paleontólogos admiten que la pauta esté tan clara.



El dinoterio, uno de los gigantes pleistocénicos que se extinguieron por culpa del hombre.

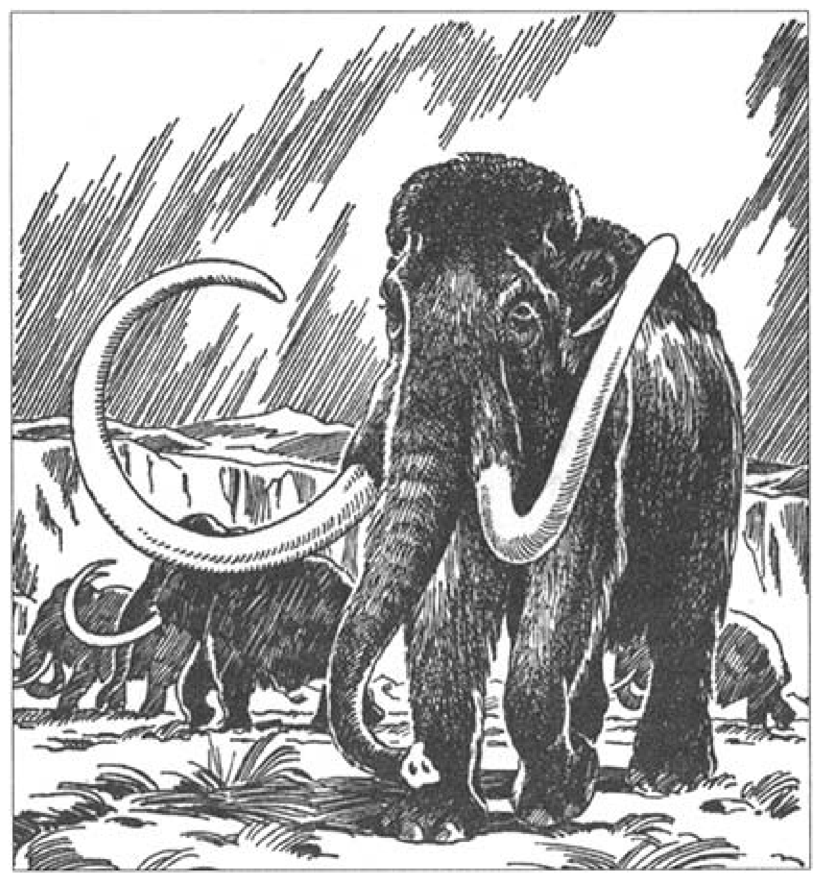
Antes de analizar los méritos de la hipótesis del exterminio, quisiera decir que forma parte de uno de los temas de la antropología de la historia humana reciente que más calurosamente se han debatido. Me refiero al momento exacto en que se pobló el continente americano. Las puntas Clovis que se encontraron a principios de siglo, más los centenares de hallazgos semejantes que se produjeron en el curso de las décadas siguientes, parecían determinar el momento de la entrada. Cuando se hizo la prueba del radiocarbono a material asociado a las puntas de Clovis y dio una antigüedad de 11.500 años, la cuestión pareció zanjada. Sin embargo, antes de las excavaciones de Clovis, y también después, se habían encontrado indicios de población humana de una antigüedad muy superior a 11.500 años, en algunos casos de 35.000 años de antigüedad. Las pruebas encontradas en algunos de estos yacimientos «preclovianos», que no en todos, parecen convincentes. Los yacimientos

son escasos, sin embargo, y siempre cabe imaginar que se produjese una serie de olas migratorias cuando la glaciación hizo descender el nivel del mar lo suficiente para dejar al descubierto el fondo del estrecho de Bering, que separa Alaska de Siberia. Puede que la población precloviana fuese escasa; en cualquier caso, las huellas arqueológicas dan a entender que aquella población no creció mucho. Sólo con la llegada del hombre de Clovis hay indicios de una expansión rápida, tanto en número de individuos como en territorios ocupados. Fuera cual fuese la fecha de la primera entrada, no desmiente la hipótesis del exterminio que se vincula con la expansión Clovis de finales del Pleistoceno.



El gliptodonte, otro gigante pleistocénico que desapareció a manos del hombre.

Uno de los argumentos con que Martin apoya su hipótesis es el carácter único del acontecimiento. «Si los cambios climáticos de la era glacial tuvieron un peso determinante en la extinción de los grandes mamíferos americanos», ha escrito hace poco, «no se entiende por qué en las glaciaciones y en los calentamientos interglaciales anteriores no hubo pérdidas en la fauna».[109] Los dos millones de años que precedieron a la mortandad fáunica de finales del Pleistocene estuvieron jalonados por muchas transiciones entre glaciaciones y periodos interglaciales, y sin embargo no se asocia con ellas ninguna extinción señalada. Y si hubo algo catastrófico en el calentamiento de finales del Pleistocene, pregunta Martin, ¿por qué no produjo una racha de extinciones parecida en otras partes del mundo, como Australia y África? Además, si el clima fue el culpable en el caso americano, y devastó comunidades vegetales de las que dependían los animales, ¿cómo se explica que las especies vegetales que tenían importancia por ejemplo en la dieta del mamut y el perezoso gigante siguieran abundando por todas partes después de que estas especies mamíferas se extinguieran? Son factores de peso en favor de la hipótesis del exterminio.



El mamut lanudo, tercer gigante pleistocénico que se extinguió por culpa del hombre.

Sin embargo, el argumento tiene otra cara. Si los cazadores eliminaron tantas especies de mamíferos grandes, preguntan los críticos del exterminio, ¿por qué sobrevivieron especies como el bisonte, el alce americano, el alce europeo y el buey almizclero? Si el impacto de la caza fue tan devastador, ¿por qué se salvaron estas especies? Puede que la respuesta se encuentre en la historia y comportamiento particulares de estos animales. «Muchos gigantes americanos que sobrevivieron eran en realidad inmigrantes procedentes del Viejo Mundo», observa Martin, «donde, a pesar de haber sido cazados durante mucho más tiempo y de haber sufrido serias reducciones territoriales, también habían aprendido a sobrevivir.»[110] Tras evolucionar junto con los humanos durante millones de años, en el curso de los cuales apareció el arte de la caza, estas especies del Viejo Mundo habían adquirido conciencia de nuestra especie e instintos para eludir sus costumbres predadoras. Estas especies se llevaron consigo sus rasgos de supervivencia cuando pasaron de Asia al continente americano. Por otro lado, unos supervivientes eran de movimientos imprevisibles, como el caribú, el bisonte y el antílope, mientras que otros, como el alce americano, el oso de anteojos… y el tapir, vivían en entornos de cubierta densa, donde era más difícil su localización. Fuera cual fuese el motivo, el caso es que sobrevivieron, aunque no eran más que una pequeña fracción de las especies de grandes mamíferos de finales del Pleistoceno.

Algunos partidarios de la hipótesis del clima arguyen que ésta se simplifica a

menudo. Una caída de la temperatura global no se limita sin más a reducir y fragmentar comunidades vegetales, dejando restos donde las poblaciones reducidas de especies animales puedan sobrevivir. Por el contrario, la integridad de las comunidades se hace añicos; unas especies emigran a hábitats nuevos de una clase y otras a otros. El resultado es que se forman comunidades que no existían antes del cambio climático. Los biólogos Russell Graham y Ernest Lundelius, del Museo del Estado de Illinois y de la Universidad de Texas, respectivamente, llaman a este fenómeno «desequilibrio coevolutivo». En un importante simposio sobre el tema que se celebró hace unos diez años, Graham explicaba el modelo como sigue: «Las comunidades del Pleistoceno tardío se caracterizan por la coexistencia de especies que hoy están geográfica y ecológicamente apartadas. Esto supone que las comunidades no emigraban como comunidades intactas, sino que por el contrario respondían al cambio ambiental de acuerdo con sus propios límites de tolerancia. Muchas especies animales necesitaron adaptaciones significativas en sus estrategias alimentarias». Puede que sea verdad, conceden Graham y Lundelius, que algunas especies vegetales de las que dependía el perezoso gigante se encuentren aún en la zona donde estos animales se extinguieron; pero es casi seguro que para subsistir necesitaban además otras plantas. Puede que éstas sí desaparecieran del hábitat del perezoso. Por desgracia, no es fácil comprobar la propuesta.

En esta polémica, sin embargo, hay un término medio que recoge el impacto mortal de la caza y el cambio climático. Es el guión propuesto por John Guilday, especialista en la flora y la fauna de la región de los Apalaches. Firme creyente en que el drástico cambio climático de fines del Pleistocene no pudo dejar de tener un efecto devastador en las poblaciones de especies animales, aceptaba sin embargo que la caza también podía haber desempeñado un papel. «Es posible imaginar una sobrecarga cinegética primitiva capaz de originar la extinción de especies cazadas», escribió poco antes de su prematura muerte, acaecida en 1982, «pero sólo en condiciones no directamente relacionadas con la presión cinegética en cuanto tal, sino más bien con la salud ecológica general de esas especies.»[111] Sería absurdo, decía, empeñarse en que la caza fue la única culpable. «Los taxones de mamíferos grandes no se limitaron a desaparecer de un escenario ecológicamente sereno, sino que, por el contrario, desaparecieron durante un momento de gran agitación ecológica en que las biotas se reajustaban, se disolvían y volvían a formarse de acuerdo con nuevos parámetros climáticos, por lo que entraron en el Holoceno con un aspecto muy cambiado.»[112] Unos nichos ecológicos ya establecidos desaparecieron; se fundaron otros. La cuestión es: ¿cuánto dependían los grandes mamíferos condenados de la composición concreta de las comunidades ecológicas con las cuales evolucionaban? Mucha dependencia los habría hecho vulnerables al cambio; poca dependencia les habría permitido orientar sus estrategias de subsistencia hacia las comunidades recién

formadas. No conocemos la respuesta.

En la actualidad no hay forma de evaluar el impacto relativo de la caza y el cambio climático en la fauna americana de finales del Pleistoceno. Los dos acontecimientos azotaron el continente al mismo tiempo. ¿Debilitó tanto un proceso la fauna, reduciendo el tamaño poblacional, que bastó la capacidad coactiva del otro para acabar con ella? Como dijo Guilday, «en cualquier caso, su efecto combinado fue devastador y el mundo de ahora es mucho más pobre».[113]

Ya he dicho que la pauta de las extinciones pleistocénicas no es la misma en África y Australia que en el continente americano. Allí no hubo ningún colapso fáunico espectacular en esa época, hace entre doce y diez mil años, como ocurrió en América. Aunque África y Australia no escaparon a la selección de especies pleistocénica. La verdad es que, proporcionalmente, Australia sufrió incluso más que el continente americano, ya que perdió alrededor del 85 por ciento de sus especies de mamíferos grandes. A África le fue mucho mejor, aunque también sufrió importantes extinciones a comienzos del Pleistoceno. Sigue siendo, pese a todo, el continente de la caza mayor por excelencia. La diacronía de las extinciones pleistocénicas de África, Australia y América quita peso sin duda al argumento que acusa al cambio climático en el caso americano. El cambio climático es global, y es de esperar que ejerza efectos parecidos en todos los continentes al mismo tiempo. La diacronía puede también invocarse para apoyar la hipótesis del exterminio, del siguiente modo.

En primer lugar, la extinción americana coincide con la expansión del hombre de Clovis, como ya hemos visto. ¿Y en África, que tuvo importantes extinciones a comienzos del Pleistoceno, y en Australia, donde las extinciones fueron tardías, hace probablemente sesenta mil años? La coincidencia de la llegada de los humanos y los momentos significativos de extinción reforzaría la hipótesis del exterminio.



Europa fue antaño la patria de muchas especies de mamíferos grandes, pero ya no.

África es la cuna de la humanidad, como ya advirtió Charles Darwin hace más de un siglo. Los primeros miembros de la familia humana evolucionaron allí hace unos cinco millones de años, pero las pautas de subsistencia de aquellas tempranas especies humanas se parecían mucho a las de los monos. No éramos cazadores al comienzo de nuestra andadura evolutiva. Si hemos de guiarnos por los indicios arqueológicos, comer carne pasó a ser importante en algún momento, hace entre dos y tres millones de años, coincidiendo con la expansión del cerebro. Cuando apareció el *Homo erectas*, hace casi dos millones de años, ya se había desarrollado un modo de existencia basado en la caza y la recolección. Se mantuvo hasta hace muy poco, hasta que se inventó la agricultura, hace unos diez mil años. No estoy diciendo que el *Homo erectus* fuera un cazador consumado en el sentido en que lo son los pueblos modernos de tecnología primitiva. La verdad es que el antropólogo Richard Klein, de la Universidad de Stanford, ha demostrado convincentemente que las artes de la caza se perfeccionaron mucho con la aparición de los humanos modernos, hace unos cien mil años. Antes se elegían presas mansas, fáciles de capturar; después fueron presas habituales incluso animales peligrosos como el búfalo de El Cabo. En tanto que cazadores en ciernes, los miembros del género *Homo* evolucionaron junto con sus presas potenciales durante más de dos millones de años.

Paul Martin ha comentado que, durante esta larga coexistencia, los animales desarrollaron medios de eludir las costumbres predadoras de los humanos. «Que la extinción pleistocénica fue en África y Australia distinta de la de América se advierte

en la diferencia que hay entre unos humanos en desarrollo gradual que evolucionaron durante millones de años junto a animales grandes en un continente y las carnicerías ocasionadas por una sociedad cazadora muy avanzada que, en el pináculo de su poder, irrumpió en el otro», dice. «Si el foco del origen humano hubiera sido América y no el Viejo Mundo, el registro de las extinciones del Pleistoceno tardío habría podido invertirse perfectamente».[114] ¿Fueron las extinciones de animales grandes de comienzos del Pleistoceno el resultado del impacto inicial de un predador nuevo (el *Homo erectus*) a cuya presencia no se habían adaptado aún las especies presa potenciales? Una coincidencia así encajaría en la hipótesis del exterminio. Pero no hay forma de saber si es cierta, y es tan probable como que la causa fuera el cambio climático.

El mensaje de Australia es más claro, aunque no carece de titubeos. En virtud de su prolongado aislamiento geológico, la fauna nativa del Pleistoceno tardío no se parecía a la de los demás continentes. Había criaturas parecidas al rinoceronte, al perezoso gigante, canguros gigantes, animales parecidos a tapires, a roedores gigantes, pero sólo dos grandes carnívoros, uno con aspecto de león y otro con aspecto de perro, y todos, como está mandado, eran mamíferos marsupiales, no placentarios. (Había otro carnívoro grande, un lagarto gigante, mayor que el dragón de Komodo.) A diferencia de América, Australia carecía de un mamífero del tamaño del elefante y de perezosos gigantes. La extinción de finales del Pleistocene en Australia representó más de las tres cuartas partes de la ocurrida en el continente americano. (El total de especies, por otra parte, era allí inferior.) De las cincuenta especies de animales grandes que había hace más de sesenta mil años sólo sobrevivieron cuatro, todas canguros. Al igual que en América, se extinguieron muy pocos mamíferos pequeños.

Por diversos motivos es difícil fechar exactamente los yacimientos de fósiles de mamíferos australianos extinguidos. Las estimaciones más fiables les dan una antigüedad que oscila entre cien y doce mil años, con probabilidades de que sean unos sesenta mil. Está muy cerca del momento del acceso humano al continente que sugieren los indicios arqueológicos. ¿Señala con el dedo esta coincidencia al *Homo sapiens* para acusarle de perpetrar otra carnicería a nivel continental? Paul Martin cree que sí. «La llegada de una especie tan poderosa como mortal, el *Homo sapiens*, a un continente que hasta entonces había conocido pocos carnívoros corredores grandes, y ninguno del orden de los carnívoros, parece apoyar única y exclusivamente el exterminio», dice. «La pérdida de los mamíferos grandes, más lentos y llamativos, parece inevitable y evidente.»[115]

Si es así, responden los críticos de la hipótesis del exterminio, ¿dónde están las pruebas? ¿Dónde los esqueletos petrificados de los canguros gigantes atravesados por lanzas de piedra? La ausencia prácticamente total de estas asociaciones de esqueletos

y armas antiguas es sin duda un punto débil en la hipótesis del exterminio. Martin la explica diciendo que, dada la brevedad del tiempo transcurrido entre la entrada de los humanos, su expansión y el exterminio de las especies, es comprensible la inexistencia prácticamente total de indicios arqueológicos. Es verdad que los registros fósil y arqueológico recogen imágenes a cámara lenta, no la acción rápida, y por tanto el argumento de Martin es válido. No obstante, es científicamente incomprobable y esto no acaba de gustar a los estudiosos.

Los indicios del impacto destructivo de los humanos en las comunidades ecológicas en las que se aposentaban son, en consecuencia, circunstanciales. Fuera humano o no el agente causante de las extinciones pleistocénicas, las devastaciones ocurridas en estas comunidades en tiempos relativamente recientes ponen de manifiesto su fragilidad. Un cambio en una circunstancia exterior podría haber hecho que se viniesen abajo.

Si hay dudas sobre lo que acabó con los gigantes de América, África y Australia, no puede decirse lo mismo sobre Nueva Zelanda. Aisladas vecinas de Australia en el hemisferio sur, las dos islas que forman Nueva Zelanda albergaron hasta hace poco una biota única, «tan rara que la rechazaríamos como fantasía propia de la ciencia ficción si no estuvieran allí sus huesos fosilizados para convencernos de su existencia», ha dicho Jared Diamond.[116] Era una tierra de aves, pero de lo más extraordinario, y muchas no volaban. Las estrellas de este teatro eran las gigantescas moas, criaturas parecidas a avestruces que medían más de tres metros de altura y pesaban 250 kilos. Prosperó una docena de especies de moa, la más pequeña con sólo un metro de altura.

El experimento a que se sometió la evolución en Nueva Zelanda durante los millones de años de su prehistoria es un estudio de la oportunidad ecológica. Casi no había mamíferos (sólo murciélagos) y en consecuencia las aves y demás criaturas llenaban nichos parecidos a los mamíferos. Diamond lo describe así: «Moas en vez de ciervos, gansos que no vuelan y pollas de agua en vez de conejos; grillos grandes, gorriones y murciélagos pequeños en vez de ratones, y águilas gigantescas en vez de leopardos. La escena era lo más parecido a lo que veríamos si pudiéramos llegar a otro planeta fértil en que hubiera florecido la vida».[117] El águila, que pesaba unos quince kilos, era el predador aéreo más poderoso de entonces, y el único enemigo de las moas. Hasta que llegaron los humanos.

Los primeros que llegaron a las islas, hace casi mil años, fueron los maoríes, pues así se llamaba a los colonos polinesios. El mundo que vieron ante sí era el que acabo de describir. Al cabo de unos siglos ya no existía aquel mundo, transformado por una extinción masiva local. Al final desapareció casi el cincuenta por ciento de las especies de las islas, entre ellas todas las aves grandes y casi todas las especies de aves no voladoras. Hasta hace muy poco, casi todos los observadores creían que la

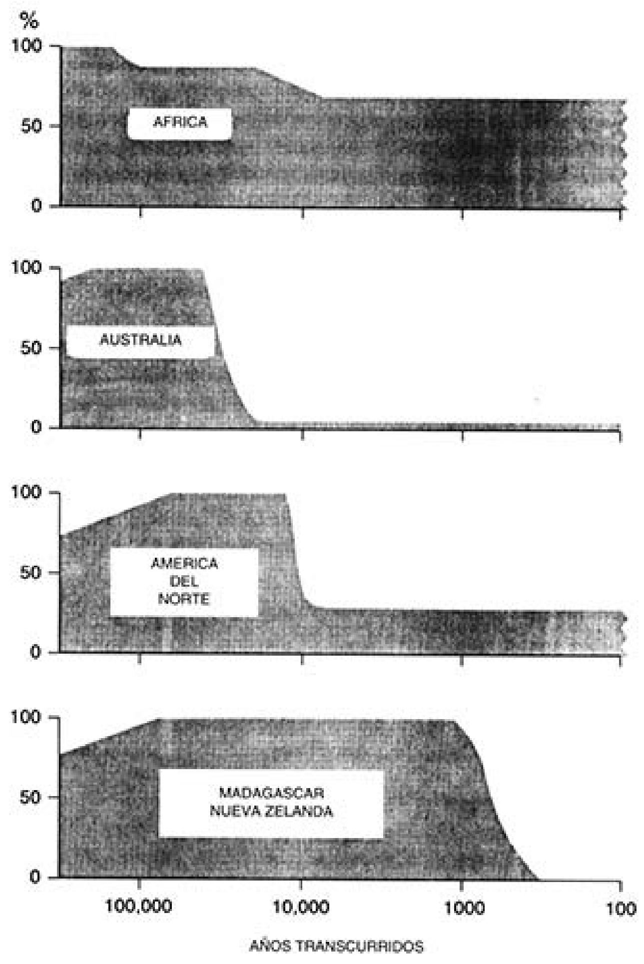
población maorí era de un conservacionismo escrupuloso y no había tenido nada que ver con la devastación de la biota de las islas. El cambio climático era el culpable que se sacaba a relucir, y se suponía que había acontecido antes de la llegada de los maoríes. A lo sumo se concedía que los colonos polinesios pudieron encontrarse con los desgarrados restos de un ambiente antaño fecundo y que echaron una mano en la obra aniquiladora. Pero se pensaba que el papel desempeñado por los humanos en este teatro de destrucción había sido mínimo.

Dos series de indicios, recompuestas hace poco, han dado al traste con esta convicción. En primer lugar, no cabe ninguna duda de que el clima neozelandés ha sido, desde fines del Pleistocene, uniforme y benigno para la vida de las islas, de supremacía aviar. «Las moas murieron con el buche lleno de comida y disfrutaron del mejor clima que se había visto desde hacía docenas de millares de años», señala Diamond.[118] No parece haber aquí la menor sugerencia de que las moas vivieran cada vez peor en un ambiente empobrecido. En segundo lugar, el suelo de los poblados maoríes revela claramente que las moas aún prosperaban cuando llegaron los primeros humanos. Los huesos lo demuestran. Además, no hay pocos indicios, sino muchísimos. Se conocen más de cien yacimientos, algunos realmente grandes. Los restos de moa revelan que los maoríes las aprovechaban como comida, cocinándolas en hornos de tierra, y como materia prima, haciendo prendas de vestir con el pellejo, y anzuelos y adornos con los huesos. Los huevos rotos se utilizaban como recipientes de agua. Hasta la fecha se ha recuperado hasta un millón de esqueletos de moa en estos yacimientos arqueológicos, diez veces más individuos de los que han vivido en cualquier momento concreto de su historia. Los maoríes tuvieron que exterminar moas durante varias generaciones para que las aves se extinguieran.

Sin embargo, se habría dicho que las moas, habida cuenta de su tamaño, su fuerza muscular y su velocidad potencial, tenían que ser unos adversarios formidables, incluso para cazadores avezados. Y dado el dificilísimo terreno montañoso de Nueva Zelanda, no tuvo que ser fácil seguirlas y acorralarlas. ¿O sí? Puede que por haber evolucionado en un mundo sin humanos, las moas y demás nativos de Nueva Zelanda fueran muy mansos. Puede que acercarse a ellas y despacharlas no fuera difícil en absoluto. Pero la caza no es el único medio por el que las especies isleñas sufrieron la huella humana. Al fin y al cabo, haciendo compañía a las moas en el camino de la extinción estuvieron también los extraordinarios grillos, caracoles, gorgeadores y murciélagos de las islas, que no son especies víctima típicas. Es muy probable que la deforestación fuera un factor importante. Cuando los maoríes despejaban el terreno para construir poblados, erradicaban hábitats de los que dependían las especies. Los maoríes llevaron consigo ratas, que tuvieron un efecto devastador en las aves terrestres y otras especies. Los nidos de estas criaturas eran presa fácil para este

voracísimo y versátil predador. Nueva Zelanda no fue ni la primera ni la última tierra que sufrió una masiva depredación ecológica a raíz de la introducción de ratas. Las ratas no encuentran obstáculos cuando invaden un ecosistema, y el resultado suele ser la extinción en cadena.

Al reducirse y desaparecer finalmente las poblaciones de moas, las águilas gigantes se quedaron sin víctimas con las que subsistir. Cabe la posibilidad de que probaran a sustituirlas por víctimas humanas, dado que, al igual que las moas, se trataba de bípedos de estatura parecida. Los maoríes habrían tomado medidas para protegerse y la confrontación sólo podía producir un resultado. La idea del hombre como exterminador es verdadera en el caso de Nueva Zelanda. La admiten incluso los defensores de la hipótesis del cambio climático, como John Guilday, que decía que el caso «estaba claro». Cuando los europeos llegaron a las islas, a comienzos del siglo XIX, encontraron una población al parecer en armonía con el entorno, que al principio se imaginó virgen, un reflejo de un mundo anterior. No pasó mucho tiempo, sin embargo, antes de que los arados de los colonos europeos desenterraran los huesos y cascarones de unas aves exóticas que no se parecían a ninguna otra que hubieran visto en la vida. Fue el primer balbuceo de una importante lección sobre nosotros mismos, el *Homo sapiens*, que sólo ha podido aprenderse en los últimos tiempos. Que la primera presencia humana tuviera efectos devastadores en las comunidades ecológicas de Nueva Zelanda apoya circunstancialmente la idea de que en América se produjeran impactos parecidos.



Muchos lugares sufrieron la pérdida de especies animales grandes durante el Pleistoceno, aunque en momentos diferentes. En Australia, América del norte, Nueva Zelanda y Madagascar las pérdidas coincidieron en el tiempo con la colonización humana. La extinción la produjo el efecto combinado de la cacería intensiva y la destrucción de hábitats.

Las islas oceánicas como Nueva Zelanda son rincones excéntricos del proceso evolutivo y precisamente por su aislamiento. Se pueblan con las especies que la casualidad (y las circunstancias físicas) favorece y con sus descendientes. Exceptuando los murciélagos, lo normal es que no haya mamíferos en las islas lejanas, lo que hace que las comunidades ecológicas que aparecen en estos lugares sean claramente distintas de las que medran en los continentes. Los héroes de estas comunidades son las aves y los reptiles, lo que explica que suelan tener el aspecto de seres de otro mundo. Las comunidades ecológicas isleñas son además muy frágiles y vulnerables a la devastación que sigue a la irrupción de especies foráneas, sobre todo de mamíferos, sean humanos o ratas (que acostumbran a ir juntos). Por ejemplo, en el medio isleño sólo vive el veinte por ciento de las especies aviarias, pero más del noventa por ciento de las especies aviarias extinguidas en época histórica corresponde a formas isleñas. Además, las islas oceánicas son hoy el refugio de la mitad de las especies aviarias que se admite están en peligro de extinción a corto plazo.

Las islas Hawai son uno de los archipiélagos más aislados del mundo y, en consecuencia, albergan muchas especies vegetales y animales que no viven en ningún

otro sitio. Es un paraíso para los ecólogos y los biólogos evolucionistas, que buscan la manera de ver los procesos fundamentales de la vida en aquel lugar, a menudo virgen. Pese a todo, ha sufrido una gran devastación a consecuencia de la ocupación humana. Por ejemplo, a consecuencia directa o indirecta de la presencia humana en el archipiélago desapareció hasta el setenta por ciento de la población de especies aviarias. Sólo está intacta una pequeña fracción de bosque, el de las montañas, donde no pueden llegar los tentáculos del desarrollo económico.

Los estudiosos, hasta hace muy poco, suponían sin vacilar que el desastre ecológico que azotó las islas se produjo a consecuencia de la colonización europea, a fines del siglo XVIII. Por ejemplo, un biólogo de la Universidad de Hawai escribía hace sólo dos décadas que «la devastación del entorno hawaiano comenzó en serio unos años después de la llegada del capitán Cook y sus sucesores».[119] Al igual que en el caso neozelandés, los estudiosos imaginaban que los colonos polinesios de Hawai, que llegaron al archipiélago hace mil quinientos años, se instalaron en armonía con la comunidad ecológica que encontraron. Se suponía que los humanos de Hawai formaban parte del entorno natural, lo mismo que los pinzones hawaianos. Se pensaba que el capitán Cook y sus sucesores inmediatos habían puesto los ojos en un ecosistema virgen que hacía poco había incorporado una inofensiva especie mamífera, el *Homo sapiens*, con aspecto polinesio.

En los años setenta comenzó a socavarse este punto de vista; primero Joan Aidem, naturalista aficionada de las Molokai, y luego Storrs Olson y Helen James, del Smithsoniano, recompusieron la vida primitiva del archipiélago. Estudiando los frágiles fósiles de huesos de ave comprendieron que las comunidades ecológicas de las islas eran muy distintas de lo que habían imaginado, y que un respetable porcentaje de lo que las había hecho tan diferentes se había extinguido unos siglos después de la llegada de los primeros colonos polinesios. «Sabíamos desde hacía mucho que las islas habían estado antaño cubiertas de selva virgen compuesta sobre todo por plantas que no existían en ningún otro lugar del mundo», escribieron al cabo de cinco años de fructífera exploración, «pero hace sólo doce años que comenzamos a darnos cuenta del punto hasta el cual había albergado la selva una notable variedad de especies endémicas de aves, la mayoría de las cuales estaba condenada a extinguirse rápidamente a manos de los humanos».[120] En la época prehistórica de la Polinesia se extinguieron por lo menos cincuenta especies de aves, entre ellas ibis, gansos, grullas, búhos, un halcón, un águila, cuervos y multitud de pájaros canoros.

Cuando Olson y James revisaron los huesos fósiles de aves y redactaron la lista de las bajas, no esperaban la elevada proporción que encontraron de especies no voladoras: diecisiete de cincuenta. «La existencia de estas insólitas aves era el secreto mejor guardado de Hawai hasta la última década», escribieron.[121] Las aves extintas no pertenecían a oscuros linajes extinguidos hacía mucho, sino que descendían de

especies conocidas, como patos, gansos, grullas e ibis. Sus antepasados debieron de ser voladores consumados, de lo contrario no habrían podido salvar los 3.200 kilómetros de agua que hay entre la costa continental más cercana y el lejano archipiélago. Liberados de las mortales asechanzas de los predadores con que habían evolucionado, muchas especies renunciaron a la capacidad de volar, una transformación evolutiva que, como los biólogos han acabado por admitir, se produce a menudo en medios isleños. Puesto que se les daba la oportunidad de no tener que gastar energía volando, muchas especies la aprovecharon. Fue un proceso relativamente rápido en términos evolutivos, porque la más antigua de las islas grandes de Hawai, Kauai, salió catapultada de las olas como un volcán biológicamente virgen hace sólo seis millones de años. El ritmo de desaparición de estas aves fue mucho más acelerado, medible en siglos, incluso en décadas.

«Parecía lógico llegar a la conclusión de que la avifauna hawaiana estaba en equilibrio natural cuando los europeos llegaron a las islas», observaron James y Olson, aludiendo a la opinión tradicional que contribuyeron a destronar. «El registro fósil, sin embargo, ha demostrado que la avifauna históricamente conocida es sólo una fracción de la diversidad de especies naturales del archipiélago.»[122] En Oahu, por ejemplo, se conocen históricamente siete especies de aves y, sin embargo, en los yacimientos de fósiles hay restos de cuatro veces más. Esto representa un empobrecimiento tremendo, que, una vez más, coincidió con la llegada de los colonos polinesios. Investigaciones posteriores han puesto de manifiesto que el destino prehistórico de las Hawai no fue excepcional.

Los dos investigadores del Smithsoniano y otros colegas se dieron cuenta de que podían sacarse dos conclusiones acerca de las islas del Pacífico donde se encontraban indicios fósiles de especies aviarias: primera, que las actuales comunidades ecológicas están horriblemente empobrecidas en comparación con las de tiempos prehistóricos; segunda, que la extinción de especies siempre coincidía con la llegada de los primeros colonos. El caso de la isla de Henderson es extremo e ilustra la idea general. Situada en el grupo de las Pitcairn, Henderson es pequeña (treinta y siete kilómetros cuadrados) y no particularmente acogedora. Hay acantilados de piedra caliza que brotan de las profundidades del mar, el terreno es desigual, está densamente poblado de vegetación y el agua dulce escasea. Hay muchas especies animales y vegetales que no se encuentran en ninguna otra parte. No hace mucho se decía que era «una de las pocas islas de su tamaño y de las regiones más calientes del mundo que no habían sido demasiado afectadas por las actividades humanas». Mientras la isla se consideró relativamente virgen, los biólogos pensaban que estudiando sus especies obtendrían información segura sobre la estructura e interacciones de una comunidad intacta, totalmente funcional.

Se equivocaban. Olson, esta vez en compañía de David Steadman, del Museo del

Estado de Nueva York, analizó los yacimientos fósiles de la isla y descubrió un cuadro muy distinto. Lejos de ser virgen, a Henderson le falta por lo menos un tercio de las especies de aves terrestres que tenía en tiempos prehistóricos, y seguramente más. Henderson estuvo brevemente poblada en algún momento por colonos polinesios hace entre ochocientos y quinientos años, y ha venido a denominarse «isla del misterio» porque nadie sabe por qué se marcharon aquellos pobladores. Hay en el Pacífico aproximadamente una docena de islas misteriosas como Henderson, pero en el caso de esta isla el misterio es por qué se quedaron tanto tiempo los colonos, dadas las inhóspitas condiciones de subsistencia que tuvieron que afrontar. En cambio, ya no hay ningún misterio en la lista de especies extintas en dichas islas. Todas quedaron destruidas a causa de la presencia humana.

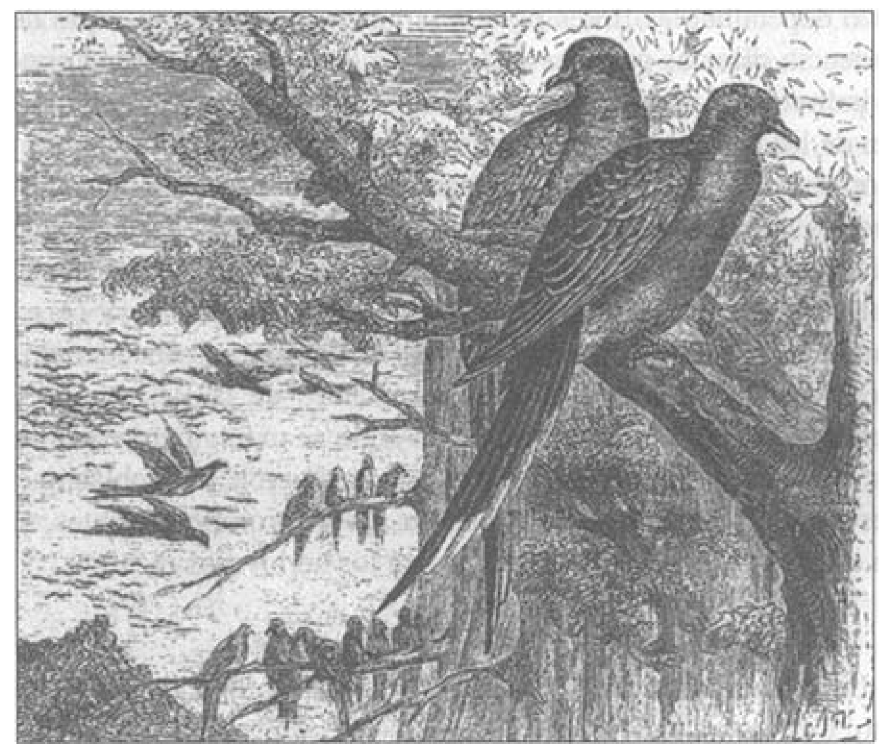
Aunque la caza de aves acabó sin duda con algunas especies, hay otros medios por los que la presencia humana influye mortalmente en los ecosistemas naturales. Y aunque la caza puede afectar a una o varias especies nada más, los impactos orientados de otro modo pueden tener mayor repercusión. En Hawai, por ejemplo, los colonos limpiaron buena parte del bosque de las tierras bajas, actividad que destruye y fragmenta hábitats. Tálese un bosque y los organismos que lo habitan tendrán que encontrar un hábitat parecido o perecer. Abrase un claro en un bosque y la comunicación y desplazamientos en lo que antes era un hábitat continuo se obstaculizará o se impedirá totalmente. Las comunidades ecológicas podrían sufrir perturbaciones, volviéndose más sensibles a las invasiones de especies nuevas y desencadenando quizá un alud de extinciones. Un reciente y fascinante estudio realizado por ecólogos británicos y estadounidenses pone de manifiesto que algunas extinciones no sólo fueron inesperadas, sino que además se produjeron mucho después de la perturbación inicial.

Los hábitats perturbados por una fragmentación pierden especies por varios motivos. Las que necesitan una geografía alimentaria muy amplia, por ejemplo, desaparecerán del hábitat fragmentado; este factor afecta sobre todo a los grandes carnívoros. Las especies poblacionalmente pequeñas son vulnerables a la extinción causada por acontecimientos casuales. Y así sucesivamente. La vulnerabilidad de estas especies condenadas se identifica con rapidez. Pero cuando David Tilman, Robert May y otros colegas de las universidades de Minnesota y Oxford hicieron un modelo matemático de comunidades complejas, hallaron un resultado que nadie había previsto. Entre las especies más vulnerables están las mejor adaptadas. Pero la vulnerabilidad puede tardar décadas, incluso siglos, en manifestarse. Me explicaré.

Supongamos que las comunidades ecológicas están compuestas de dos clases de especies vegetales, las bien adaptadas a las condiciones locales y las que lo están menos. Las bien adaptadas gastan su energía explotando recursos del hábitat, por ejemplo hundiendo las raíces para llegar a una capa freática baja o sobreponerse a

incendios periódicos; o desarrollando tallos largos para absorber luz con más facilidad que las especies más pequeñas. La estrategia que adoptan las especies peor adaptadas es la movilidad, mediante la dispersión de simientes. Esto les permite aprovechar oportunidades ocasionales de colonizar hábitats nuevos. Cuando una comunidad ecológica de estas características queda aislada, mediante la fragmentación del hábitat, las especies que más peligro corren son las menos móviles, es decir, las bien adaptadas. Encerradas en terrenos aislados, estas pequeñas poblaciones locales se vuelven vulnerables a las catástrofes ocasionales, por ejemplo las enfermedades, los incendios o la escasez de nutrientes. Una tras otra, las poblaciones aisladas se extinguirán localmente y al final desaparecerán en un radio geográfico amplísimo o se extinguirán del todo desfilando lentamente hacia el olvido eterno. «Como las extinciones se producen generaciones después de la fragmentación», advertían Turnan y sus colegas, «son como una letra que vence al cabo de algún tiempo».[123] Esto quiere decir que los efectos de perturbaciones ecológicas con medio milenio de antigüedad aún podrían estar dando coletazos en el mundo actual. Y que la actual destrucción ambiental está firmando letras de extinción que tendrán que pagar los hijos de nuestros hijos, dentro de quinientos años.

Hoy se admite que la destrucción y fragmentación de hábitats es responsable de buena parte de la racha de extinciones que azotó Hawai. Pero los humanos raras veces viajan solos cuando buscan una nueva patria. Unas criaturas se llevan a propósito, por ejemplo gatos, perros, cerdos y cabras; otras se cuelan como polizones, por ejemplo las ratas. Métanse estas criaturas en comunidades isleñas que nada saben de mamíferos y la mortandad está asegurada, sea por competencia sea por predación. Las cabras son herbívoras y comen especies nativas sin problemas, amenazando con dejar desnudo el paisaje natural. En varias islas de las Galápagos se introdujeron cabras hace dos siglos y algunas quedaron prácticamente como peñascos de roca pelada. Los predadores, sin embargo, producen un impacto más inmediato, y no necesitan ser grandes y agresivos para resultar muy peligrosos para la vida de una comunidad. Tal vez sorprenda a algunos saber que entre todos los compañeros de viaje de los humanos que se dedican a la predación, los responsables de más extinciones son las ratas. Como son omnívoras, se zampan los huevos y las crías de aves y reptiles, comenzando la cadena de la destrucción en las primeras etapas del ciclo vital.



La paloma migratoria, antaño el ave más corriente de América del Norte, ya no existe. Un libro de historia natural publicado en 1874 la describía de este modo: «Las palomas migratorias recorren los bosques de América del Norte en masas tan compactas que interceptan totalmente los rayos del sol y proyectan una larga sombra en el suelo… El desfile de estos batallones dura a veces tres horas». (Algunos de estos batallones estaban formados por hasta mil millones de individuos.) Sin embargo, menos de veinte años después de que se escribieran estas palabras, las palomas migratorias desaparecerían de los campos, víctimas de una caza indiscriminada. Como observo el mismo naturalista: «En cuanto las palomas se aposentan en el bosque, todas las personas de los alrededores en condiciones de hacerlo corren al lugar y las exterminan totalmente».

Como ya vimos, las comunidades ecológicas no son simples agrupaciones de especies que casualmente viven en la misma zona. Están sometidas a interacciones, aunque débiles, en virtud de complejas cadenas alimentarias. En consecuencia, la extinción de una sola especie puede repercutir en toda la comunidad, produciendo extinciones en cadena. Por ejemplo, hay varias plantas hawaianas a punto de extinguirse por la desaparición de los pinzones autóctonos, de cuyo pico largo y curvo dependían las flores para la polinización. Es un ejemplo de dependencia directa; pero las cadenas de dependencia también pueden ser indirectas. Los herbívoros grandes a menudo posibilitan la instalación de los de menor tamaño en lugares donde no podrían aposentarse de otro modo, ya que abrir hábitats es un efecto de la actividad de las especies grandes. Los efectos perturbadores de estos herbívoros grandes fomentan la diversidad y la productividad entre las plantas del hábitat. Un ejemplo de lo que sucede cuando se desaloja (es decir, cuando se extinguen localmente) a estos «herbívoros abanderados» lo tenemos en la desaparición de los elefantes de la Reserva de Caza Hluhluwe, en Natal. En menos de un siglo se

extinguieron localmente tres especies de antílopes e incluso se redujeron las poblaciones de ñúes y antílopes acuáticos. Cuando desaparecieron los elefantes, se fue con ellos la generación de hábitats para los herbívoros menores.

Las comunidades ecológicas son sistemas complejos, como hemos visto. Las consecuencias prácticas de esta complejidad se ven con claridad en el impacto que produce su perturbación. Hoy ya no puede negarse que una parte importante de las perturbaciones del pasado reciente se ha debido a la presencia humana. La magnitud de la devastación ecológica, sobre todo en islas oceánicas, durante los últimos milenios, se viene valorando desde hace muy poco y ha sido como una ducha de agua fría. No sólo no es el mundo como lo imaginaban los ecólogos (virgen, con sistemas naturales en conjuntos intactos), sino que no podemos eludir el hecho de que la especie humana ha tenido un efecto dañino en el ecosistema global en que tan recientemente ha evolucionado.

No hacen falta máquinas de deforestación masiva para ocasionar grandes daños ambientales. Las sociedades con tecnología primitiva han establecido en el pasado reciente una marca insuperada en este sentido, ya que desencadenaron lo que en palabras de Storrs Olson fue «una de las más rápidas y graves catástrofes biológicas de la historia de la Tierra»[124] Añádanse los posibles exterminios de Australia y América y el *Homo sapiens* podrá enorgullecerse de tener una larga historia como agente causante de extinciones. Actualmente vivimos en un mundo moderno, con esta historia a nuestras espaldas. En la última sección de este libro trataré del impacto presente y futuro que nuestra especie puede producir en el mundo. Hay quienes no están de acuerdo, pero creo que lo que nos espera es seriamente preocupante, tanto por lo que se refiere a la pérdida de majestuosas especies concretas, como el elefante, cuanto por el efecto global. No he hablado aquí de los impactos humanos del pasado para justificar lo que nos azota actualmente. Sabemos lo que hacemos y conocemos las consecuencias; las sociedades anteriores no. Por ello mismo es necesario contemplar las pautas del presente con la perspectiva histórica correcta.

11
Historia del elefante moderno

Los elefantes son los animales terrestres más grandes que existen en la actualidad. De forma y movimientos majestuosos, de comportamiento complejo y mágicamente sensible, han dado pábulo a mucha mitología. En el hinduismo hay un dios con cara de elefante que se llamado Ganesha, todopoderoso y capaz de vencer cualquier obstáculo. Ganesha, que es también el protector de la literatura y el conocimiento, se invoca al comenzar las oraciones o antes de acometer una empresa arriesgada y dudosa. Dice la leyenda hindú que antaño el elefante podía volar, pero que perdió esta capacidad cuando, cierto día, aterrizó en una higuera y cayó encima de la casa de un eremita destrozándola. El eremita lo maldijo condenándolo a permanecer en tierra, privado para siempre de la capacidad de volar. Para los romanos los elefantes eran criaturas introvertidas que adoraban el sol, la luna y las estrellas. Aristóteles decía que se parecían al hombre tanto como la materia podía parecerse al espíritu. Plinio el Viejo, el gran enciclopedista romano, estaba de acuerdo cuando decía que, de todo el reino animal, los magníficos paquidermos eran «los más cercanos al hombre». De los elefantes se decía que entendían el lenguaje humano, que tenían sentido moral y ético, y que poseían una cultura que, aunque distinta de la humana, era igual de compleja y espiritual.

En la actualidad, los elefantes se consideran la esencia misma de «la selva»: poderosos y libres, inteligentes y también enigmáticos, por qué no. Son una extraordinaria creación de la naturaleza, un vínculo tangible con el pasado recóndito y remoto, los amos indiscutibles de las llanuras. Quien vaya a África para ver la quintaesencia de la fauna, tiene que contemplar los elefantes.

Durante los cinco años que fui director del Servicio de la Fauna de Kenia me preocupé por los elefantes. No por motivos estéticos o académicos, sino por la dura e ineludible realidad de que estaban empujándolos hacia la extinción. Privados a ritmo creciente de un territorio antaño infinito a causa de la incontenible expansión de las poblaciones humanas y eliminados a sangre fría para quitarles el marfil, la población del elefante africano se había reducido a la mitad durante la década que precedió a mi nombramiento de director, en abril de 1989. Estas dos fuerzas gemelas de destrucción no tenían freno, y al finalizar el siglo terminarían por enviar al elefante al limbo de la evolución. Comenzar el próximo milenio con las manos manchadas con la sangre de una especie tan gloriosa sería un nauseabundo testimonio de la irresponsabilidad y codicia humanas. A algunos no parecía importarles en absoluto; a mí sí me importaba.

Por suerte se ha detenido la caída hacia la extinción, victoria en la que me

enorgullezco de haber tenido un papel. No hay lugar para la complacencia, sin embargo. Detener la matanza era sólo el primer paso en un camino difícil e inseguro. Si habrá aún elefantes en la selva para inspirar asombro a los hijos de nuestros hijos, y a sus hijos, como los hay actualmente, dependerá de cómo administremos ese camino. Describiré por encima las circunstancias que llevaron a los elefantes al borde de la extinción y cómo se modificaron. Pero no me detendré en los detalles de este reciente episodio, en el que se mezclan la biología de la conservación, la política y el comercio. Lo mejor que pueden hacer los lectores que quieran conocer esta historia es recurrir a *Battle for the Elephants*, un libro publicado hace poco por Iain y Oria Douglas-Hamilton, dos personas incansables y abnegadas a las que tuve la suerte de tener por amigas y aliadas en la lucha común. Aquí me concentraré en las lecciones que podemos aprender de los elefantes, de su historia, de su drama actual y de su incierto futuro.

En muchos aspectos, los elefantes y su lugar en el mundo sintetizan los temas básicos de este libro, esto es, que percibimos los cambios en el tiempo y que en los cambios percibimos la generación de la diversidad natural. No es de extrañar que, por ser la especie terrestre más grande, el elefante afronte problemas gravísimos en su coexistencia con los humanos. Administrar el camino de esta coexistencia a largo plazo es, como he dicho, un tema lleno de incertidumbres, y la verdad es que nos gustaría ponernos en manos de Ganesha para que nos guíe en esta aventura.

Comenzaré situando a los elefantes en un contexto biológico general, viéndolos como una especie moderna con un largo pasado evolutivo. Contaré a continuación la historia reciente de la especie, que básicamente se resume en su relación con (aunque quizá debería decir su explotación por) los humanos. Con lo cual volveremos al presente, donde hay una posibilidad muy real de que se produzca otra extinción antropogénica. Por último, para comprender los elementos ecológicos y de biodiversidad asociados con la salvación de los elefantes, describiré los problemas que afronta la población de estas fascinantes criaturas en el Parque Nacional Amboseli, situado al sur de Kenia, al pie del Kilimanjaro. En muchos aspectos, la historia del elefante es la historia de la biodiversidad del mundo, en el tiempo y en el espacio.

En el mundo actual hay dos especies de elefantes, el africano, cuyo nombre zoológico es *Loxodonta africana*, y el asiático, denominado impropiamente *Elephas maximus*, ya que es el más pequeño de los dos. En realidad hay dos variantes o subespecies del elefante africano: *Loxodonta africana africana* es el que ven casi todos los turistas, el héroe de la sabana de África oriental; el otro, *Loxodonta africana cyclotis*, es menor y vive en los bosques de África central y occidental. Este pequeño muestrario de leviatanes modernos es en realidad lo que queda de lo que durante los

últimos cincuenta y cinco millones de años, aproximadamente, fue un orden dominante de mamíferos grandes, los proboscidios. Este nombre, derivado de la palabra probóscide *(proboscis* en latín), que significa nariz, es muy apropiado, porque la trompa prensil del elefante es única entre los mamíferos. Acerquémonos a un elefante (sugiero que esté domesticado) y no tardaremos en descubrir lo versátil que es la trompa. Más que un miembro complementario para coger comida o apartar los obstáculos que se ponen por delante, la trompa es el medio por el que el animal conoce el mundo, por el que busca los olores dispersos en el aire o escondidos en los pliegues del cuerpo.

Siempre que se alude a los parientes más cercanos de los elefantes, la reacción de los ciudadanos que no saben biología suele ser de incredulidad: se trata de las vacas marinas, es decir, los manatíes y dugones. La teoría que emparenta evolutivamente a los elefantes con los manatíes y dugones, únicos herbívoros entre los mamíferos que son realmente acuáticos, se basa, no en su gran tamaño, sino en la anatomía de sus huesos y su dentadura. Las vacas marinas tienen también glándulas mamarias en el pecho, como los elefantes, no en el abdomen, como la mayoría de los mamíferos. Los biólogos recogen estas semejanzas clasificando a las vacas marinas y a los proboscidios en un orden mayor, o superorden, el de los subungulados.

El origen de los proboscidios está envuelto en el misterio, pero sabemos que estuvieron en la erupción de actividad evolutiva que se produjo a finales del Cretácico, hace sesenta y cinco millones de años, cuando un cometa o asteroide gigante chocó con la Tierra y acabó con el reinado de los dinosaurios. La biodiversidad de la Tierra se redujo radicalmente durante aquella extinción en masa, la última de las Cinco Grandes. La evolución de los proboscidios formó parte de la inevitable reacción de la biota superviviente, que se tradujo en una rápida reconstrucción de la diversidad, aunque, como siempre, con muchos actores noveles en escena.

Los proboscidios más antiguos que se conocen se han encontrado al sur de Argelia. Se trata del cráneo fosilizado de un animal que vivía en los pantanos a comienzos del Mioceno, hace unos cincuenta y cuatro millones de años. Por lo visto medía menos de un metro de altura, pero la anatomía de su cabeza indica que el animal tenía una trompa prensil, que es el rasgo característico de todos los proboscidios. ¿En qué circunstancias podía ser ventajosa una estructura así? El contexto ecológico de hallazgos posteriores pone de manifiesto que los proboscidios eran criaturas acuáticas o semiacuáticas, como la especie argelina. Puede que sea un indicio vital. Tal vez, añade la especulación, la selección natural propiciara la evolución de un órgano capaz de asir vegetación mientras el animal estaba en aguas superficiales. Una trompa rudimentaria, formada por los labios, el paladar y las aletas nasales, podría cumplir esa función. Verdadero o falso, la trompa pasó a ser un

órgano importante para los proboscidios, y su evolución estuvo acompañada al final por el desarrollo de colmillos. Cualquiera que haya visto a un elefante arrancar un árbol se da cuenta de la fuerza que ejercen la trompa y los colmillos en la ejecución combinada de esta operación. Los colmillos también son importantes en las exhibiciones de rivalidad entre los machos. (Son mucho mayores en los machos que los en las hembras, cosa lógica, dado que también difieren en tamaño corporal.)

La mitad de la historia de los probocidios transcurrió en África y durante este tiempo aparecieron varios subórdenes mayores. Hace unos veinte millones de años, los descendientes de estos subórdenes se extendieron por todas las masas continentales del planeta, menos por Australia y la Antártida. Se calcula actualmente que en aquel momento de la prehistoria existían cerca de doscientas especies de proboscidios en todo el mundo. Fue una auténtica diáspora de una estirpe extraordinariamente eficaz y el orden dominó la edad de los mamíferos. Que en el mundo actual sólo queden dos especies es otra advertencia de que el dominio no es para siempre; nunca lo ha sido en la historia de la vida y nunca lo será. Deberíamos tomar nota.

Muchos animales pertenecientes a los principales grupos de proboscidios nos resultan conocidos por la frecuencia con que se han presentado gráficamente en situaciones imaginarias de la época de las glaciaciones: se trata del mamut y el mastodonte, impresionantes miembros de la fauna de Eurasia y Norteamérica. Hace veinticinco mil años se representaron en las pinturas rupestres de Europa. Otros son menos conocidos, como el gonfoterio, un gigante pesado cuyos largos dientes brotaban directamente de los anchos incisivos inferiores y que se extendió por América del Sur. También tenían colmillos superiores. Otro grupo, el de los dinoterios, tenía igualmente colmillos inferiores, pero no como los del gonfoterio, sino curvados hacia abajo. También a diferencia de los gonfoterios, los dinoterios carecían de colmillos superiores. En los yacimientos de homínidos próximos al lago Turkana hemos desenterrado magníficos ejemplares de dinoterio. Los antepasados inmediatos de las dos especies modernas de elefantes aparecieron antes del comienzo de las glaciaciones pleistocénicas, hace dos millones de años. El elefante asiático, *Elephas*, sin duda floreció primero en África y luego se extendió por casi todo el resto del Viejo Mundo. El *Loxodonta*, el elefante africano, habitó en los densos bosques del continente en algún momento del Plioceno, hace entre cinco y dos millones de años. No deja de ser irónico que los antepasados inmediatos del elefante moderno coincidieran en el tiempo evolutivo con los primeros miembros del género *Homo*, del que los humanos modernos son los únicos descendientes.

El Pleistoceno presenció la extinción de algunas especies de proboscidios africanos, y al finalizar este periodo, hace diez mil años, se produjo igualmente el final del mamut y el mastodonte en todo el mundo, seguramente por intervención

humana, como ya vimos en el capítulo anterior. *Loxodonta y Elephas* son, pues, los únicos representantes de los proboscidios que quedan en el planeta. Pese a haber salido del crisol evolutivo aproximadamente al mismo tiempo, humanos y elefantes tendrían en el futuro una relación poco equitativa, al menos desde el punto de vista de los intereses de estos últimos.

Cuando hablamos del territorio propio de los elefantes en el mundo moderno, recordamos que viven en la India y en diversas partes del Sudeste Asiático, y también conocemos su geografía subsahariana. Y cuando meditamos sobre el drama de estas criaturas crecientemente encajonadas por las poblaciones humanas, solemos pensar que es un problema de nuestros días. No es así, y eso se ve en cualquier repaso a la historia reciente, por breve que sea. Hace sólo unos miles de años, *Elephas* tenía un papel dominante en los ecosistemas de casi toda Asia, llegando hasta China y Oriente Medio, y *Loxodonta* vivía en toda África, no sólo en diversos puntos de la franja transcontinental, con pequeñas poblaciones en el sur, como sucede actualmente. Al igual que en el mundo moderno, las fuerzas gemelas de la expansión humana y la sed de marfil eran una combinación mortal.

A los humanos les fascina desde hace muchísimo tiempo la belleza (y seguramente las presuntas virtudes mágicas) del marfil. La talla prehistórica más antigua que se conoce, un caballo diminuto encontrado en Vogelherd (Alemania), se hizo con marfil, en este caso de un colmillo de mamut. Fue el comienzo de una forma de expresión al parecer irresistible, ya que se manifestó en las primeras civilizaciones de Oriente Medio hasta llegar a Egipto, Creta y Grecia. Pero fueron los romanos quienes convirtieron la costumbre en arte elevado, por no decir excesivo. Hacían figurillas con valor simbólico; decoraban objetos funcionales como los peines; se servían del marfil para construir estatuas grandes y muebles; guarnecían las paredes de las habitaciones con baldosas de marfil; lo utilizaban incluso como moneda.

La demanda de marfil creció como la espuma, con el resultado que era de esperar: la población de elefantes comenzó a mermar. Durante el siglo u a. C. se mataron los últimos elefantes del norte de África y de la parte oriental de su territorio asiático. Los romanos, por lo visto, no supieron establecer una relación directa entre su sed de marfil y la creciente escasez de los animales de donde salía. «En comparación con las sociedades modernas, los romanos tenían poca información sobre la situación de la fauna de tierras lejanas», dice Douglas Chadwick en su excelente libro *The Fate of Elephant* (El destino del elefante). «Mientras los elefantes desaparecían por culpa de la explotación del marfil, Plinio el Viejo decía que los principales enemigos naturales de los elefantes eran los dragones».[125] La verdad es que eran de un pelaje distinto los dragones que rociaban con fuego mortal a estos grandes paquidermos.

El imperio romano, junto con otras poderosas civilizaciones de la época, practicó además otras formas de explotación de los elefantes. Su fortaleza se aprovechó para la construcción y el transporte, y en la guerra fueron un arma temible. Sin embargo, estos usos tuvieron poco impacto en las poblaciones de elefantes en comparación con la búsqueda de marfil. También fue escaso en comparación con el efecto de la destrucción de su hábitat. La faz ecológica de Eurasia se transformó espectacularmente cuando la necesidad de madera de las civilizaciones nacientes fragmentó y despejó las selvas y bosques antaño extensivos. El paisaje que vemos hoy en buena parte de Eurasia y, más recientemente, en las dos Américas es básicamente artificial, resultado del desarrollo económico inherente a la construcción del moderno mundo industrial. Valdrá la pena recordarlo cuando comentemos algunas sugerencias para el mantenimiento de los hábitats de la fauna africana.

A primera hora de la tarde del 18 de julio de 1989, Daniel Arap Moi, jefe de Estado de Kenia, acercó una antorcha a dos mil quinientos colmillos de elefante empapados en gasolina para quemar una cantidad de marfil valorada en más de 3 millones de dólares. Unos 850 millones de personas de todo el mundo se enteraron del costoso incendio por televisión o por la prensa. Con el calor de las llamas a mis espaldas, me hicieron una entrevista en vivo para el programa de televisión de la ABC *Good Morning, America*. Mi mensaje fue sencillo: no compren marfil o no tardarán en extinguirse los elefantes.

Orquesté el acontecimiento cuatro meses después de que el presidente Moi me pusiera al frente del Departamento de Conservación de la Fauna. Mi objetivo inmediato era salvar los elefantes, ya que por entonces el tráfico de marfil estaba condenando a la extinción al elefante africano. Nada más ocupar el cargo tuve que decidir lo que debía hacerse con el gran alijo de marfil confiscado a los cazadores furtivos durante los últimos cuatro años. Dada la desesperada situación de la economía del departamento en aquella época, la posibilidad de vender el marfil en el mercado mundial era muy tentadora. Sabía que podríamos hacer mucho con tres millones de dólares. El equipo era escaso y poco fiable; teníamos muy poco combustible y en algunos lugares ninguno en absoluto; los cazadores furtivos tenían más armas que las unidades que los perseguían. Sí, tres millones de dólares habrían aliviado muchísimo las penurias del departamento.

Por entonces había visto ya incontables cadáveres de elefantes abatidos por los cazadores furtivos: grandes masas grises que yacían hacinadas bajo el sol abrasador, con los excrementos blancos de los buitres dando fe de la historia de muerte que habían padecido. Los relajados abdómenes reventarían muy pronto, cuando la inexorable putrefacción licuara los intestinos antaño vivos y los convirtiera en gases y cieno apestosos. Lo peor de todo eran las caras, antes solemnes y majestuosas, y

ahora transformadas en una pulpa sanguinolenta durante los segundos que tardaban los cazadores en cortarles los colmillos con hachas o sierras mecánicas. Era un espectáculo nauseabundo y conmovedor a la vez. Añádase a esto la frecuente presencia de crías famélicas y confusas que se esforzaban patéticamente por despertar a la madre abatida, por lo que la necesidad racional de poner fin a la carnicería se convirtió en obsesión. Tenía que hacer algo rápido, y tres millones de dólares nos vendrían como anillo al dedo.

Pero entonces comprendí que no era aquello lo que necesitaba en aquel momento. «No, no venderemos los colmillos», me dije una noche mientras me duchaba. «Los quemaremos para que todo el mundo se entere». Me pareció la medida idónea para llamar la atención pública sobre el drama del elefante. Con aquellos tres millones de dólares costearíamos una publicidad internacional de valor incalculable. La polémica sobre qué hacer a propósito de la caza furtiva y el tráfico de marfil estaba entonces en un momento álgido, y esperaba que el espectáculo la orientara en la dirección que me parecía más productiva. Iain y Oria Douglas-Hamilton apoyaron mi plan, y durante un fin de semana que pasamos en el rancho de un amigo de Naivasha estuvimos probando ante la chimenea la forma de prender fuego al marfil. Al anochecer se había ennegrecido, pero no quemado. Comprendimos que para incendiar una montaña de colmillos íbamos a necesitar unas llamas más potentes. Un amigo se encargó de calcular la cantidad de gasolina que habría que verter sobre los colmillos para que las llamas no se apagaran de repente ni para que el presidente y sus ministros resultaran abrasados. Respiré de alivio cuando aquella tarde de julio vi que no pasaba ninguna de las dos cosas. Faltaba comprobar si la hoguera tan minuciosamente preparada se iba a traducir en resultado positivo y éste, a su vez, en combate victorioso por las llanuras de África.

Iain había sido un «hombre elefante» durante muchos años, primero estudiando el comportamiento de los especímenes del Parque Nacional Manyara, en Tanzania, y luego por toda África, documentando el impacto de la caza furtiva. Se enroló en esto último en 1969, cuando realizó un recuento aéreo de la población de elefantes del Parque Nacional de Tsavo, al sureste de Kenia. «El seco páramo estaba lleno de elefantes rojos», escribió. «Volamos durante horas y no parecían tener fin. Al día siguiente fui a la frontera oriental y encontré una manada de más de mil animales dispersa por el bosque… A partir de allí podían verse elefantes por todo el distrito de Kilifi por lo menos hasta el océano Indico.»[126] La rojez a que aludía Iain procedía del rico suelo volcánico de la región, que cubre a los animales mientras corretean por la tierra tradicional de los elefantes, una mezcla de llanura, bosque y agua dispersa. Iain calculó que había por lo menos cuarenta mil elefantes en el parque y en los alrededores, lo que quería decir que era una de las poblaciones más importantes del continente. La excelencia de Tsavo como tierra de elefantes se debía en parte a su

guardián, David Sheldrick. Hombre comprometido con la naturaleza, reclutó guardabosques entre los lugareños y con ellos formó un pelotón tan abnegado como eficaz de defensores de las especies superiores.

Pero Tsavo no era un jardín del Edén tranquilo, equilibrado y en armonía con la naturaleza. «Los elefantes, durante los meses secos, aprovechaban los gigantescos baobabs del parque, que destacaban como gruesas torres de hormigón, como fuente de agua y comida», contaba Iain. «Ahora bien, cuando las manadas en expansión se adentraban en el bosque, hundían la trompa en el tronco de los baobabs como si fuera una espada, para desgarrar la corteza y llegar a la húmeda pulpa del interior. Muchos baobabs llevaban en pie más de mil años. En menos de diez había desaparecido una porción sustanciosa.»[127] No sólo sufrieron los baobabs; también se estaban destruyendo muchos otros árboles, haciendo, en palabras de Iain, que el parque «pareciese como si hubiera pasado por él una división acorazada».[128] En esta situación, Sheldrick se enfrentaba a lo que se enfrentan todos los administradores de la fauna: ¿cómo hay que gestionar la fauna? Expresada así, parece una pregunta tópica, pero, como ya he insinuado, no tiene fácil respuesta dada nuestra limitada perspectiva temporal de los ecosistemas y nuestro limitado conocimiento sobre cómo funcionan.

Sheldrick se esforzó por comprender la magnitud y esencia del problema. La solución que eludía era seleccionar la manada, esto es, dejar que los cazadores abatieran una proporción significativa de animales para reducir el tamaño de la población. Los defensores de la selección arguyen que así se permite que los animales estén en equilibrio con la vegetación de que dependen. La reducción selectiva se ha practicado ya en algunas zonas del continente. En contra de sus deseos, Sheldrick tuvo que contemplar impasible la puesta en marcha de una reducción selectiva de la población de Tsavo, por orden de sus superiores. Se mató a trescientos animales. Sheldrick no pudo soportarlo y consiguió que la carnicería no pasara de allí. Mejor que la naturaleza siga su curso, pensó, aunque eso signifique que de vez en cuando mueran de hambre muchos animales. De todos modos advirtió que, a medida que los elefantes abrían una brecha en el bosque, otros animales, como las cebras y los antílopes, prosperaban en los hábitats recién creados. Así llegó a la conclusión de que la interferencia mínima era la mejor forma de «administrar» la selva, una filosofía que yo mismo he acabado por defender con firmeza.

El fantasma de Tsavo avivó la polémica sobre la eficacia de la reducción selectiva. Sus defensores, que la consideraban una forma científica de administrar la fauna y mantener su hábitat, calificaban a sus detractores de aficionados sentimentales. Los detractores argüían que había que dejar que los ciclos naturales siguieran su curso. Sin embargo, un acontecimiento natural y otro forjado por el hombre vinieron a eclipsar la polémica: el primero fue la sequía, el segundo la

intensificación de la caza furtiva.

Un año después de que Iain efectuara el reconocimiento de Tsavo, una terrible sequía azotó ciertas zonas de África oriental. Los llanos y bosques se cuartearon y, faltos de follaje, los elefantes hambrientos acabaron comiéndose los árboles. Los bosques quedaron arrasados y no tardaron en parecer, como dijo Iain, «como si los hubieran bombardeado con fuego de morteros».[129] Los famélicos animales recorrían las llanuras buscando en vano agua y comida, y pronto comenzaron a morir en cantidades alarmantes. Sólo en Tsavo perecieron al menos diez mil animales. Los partidarios de la reducción selectiva adujeron los efectos de la sequía para justificar la reducción artificial de las poblaciones de elefantes. «Habrían sufrido menos y el hábitat no se habría destruido», dijeron los partidarios de este método. «La sequía fue un medio natural de controlar la población», replicaron los detractores, «y el hábitat se recuperará, como siempre ocurre en los ciclos naturales.»

Los detractores tenían razón, por lo menos en un aspecto; al cabo de unos años despuntó otra vez la vegetación en todo Tsavo y en otros lugares, alimentada por las lluvias que habían vuelto. Pese a todo, los bosques de Tsavo seguían bajo presión, ya que la población de elefantes se había recuperado igualmente, pero más por motivos antinaturales que naturales. Al huir de la creciente cacería furtiva, los elefantes se habían refugiado en los límites del parque.

Aproximadamente por entonces se celebró en Nairobi un histórico encuentro de expertos en elefantes, organizado por Peter Jarman, investigador del Departamento de la Caza de Kenia. El encuentro fue importante por varios motivos. Por ejemplo, hizo pública una valoración cuantitativa de la población de elefantes de Kenia que constituía el primer censo nacional de elefantes hecho en África. La cantidad que se citó fue de 167.000 individuos. (En poco más de cinco años se determinó que la población de todo el continente era de millón y medio de ejemplares.) El segundo resultado importante del encuentro fue la valoración del alcance de la caza furtiva, predominante en Kenia y seguramente en otros países. En 1973 se calculó que las exportaciones de marfil de toda África ascendían a 160 millones de dólares, que equivalían a 200.000 elefantes muertos. Era una cifra asombrosa, con siniestras consecuencias para el futuro de la especie. Formulada en un contexto político complejo, esta valoración representaba un asunto muy delicado en mi país y acabaría siéndolo también en otros países africanos.

El resultado final del encuentro, sin embargo, fue una confrontación de problemas. Por un lado se estaban matando elefantes en cantidades crecientes para comerciar con el marfil, y en consecuencia había que protegerlos. Por otro, en muchos lugares la población de elefantes era lo bastante elevada para causar complicaciones, destruyendo hábitats como en Tsavo o haciendo incursiones en zonas agrícolas y destruyendo cultivos. En consecuencia, había que poner freno a la

cantidad de elefantes en esos lugares, se decía. Durante década y media las posiciones encontradas desviaron la atención del verdadero problema, a saber, que mientras hubiese marfil en el mercado tendría un valor económico; y que el valor económico se aprovecharía sin ningún miramiento por el destino de la especie. Si el precio del marfil comenzaba a bajar, el futuro se despejaría; o debería despejarse.

De 1973 a 1989 los expertos en elefantes siguieron discutiendo sobre las medidas más oportunas que había que tomar para garantizar la supervivencia de la especie. Para los conservacionistas era como tocar la lira mientras ardía Roma. Paradójicamente, la organización internacional responsable del bienestar de la especie (la Comisión para el Comercio Internacional de Especies en Peligro, o CITES, por su nombre en inglés, Comission on International Trade in Endangered Species) era la que tocaba la lira más grande. Un punto en litigio era la magnitud del impacto de la caza furtiva en la población de elefantes de todo el continente. Otro era la factibilidad de mantener un comercio legal con marfil mientras se impedía el comercio ilegal con el procedente de la caza furtiva. La polémica se politizó y este aspecto tapó durante un tiempo los muy reales problemas prácticos de la conservación, que la historia del elefante moderno pone de manifiesto.

El tráfico de marfil se movía en un mundo crepuscular de secretos y engaños, y los preciados despojos de los animales muertos salían de África, por lo general clandestinamente, con destino al Lejano Oriente y de aquí a Europa y las dos Américas. Hong Kong era el corazón de este comercio; el marfil en bruto se convertía allí en objetos de valor. Entre 1979 y 1989 desembarcaron en Hong Kong más de cuatro mil toneladas de marfil, botín que equivalía aproximadamente a medio millón de elefantes muertos. Con el precio del marfil a 250 dólares el kilo, como en determinado momento, el comercio produjo cientos de millones de dólares y cubrió de oro a ciertas personas. Barajando estas cantidades es comprensible que muchos quisieran burlar las leyes destinadas a regular el comercio. No es mi intención entrar en los detalles de este problema. Otros lo han hecho ya. Pero vale la pena repetir que no mejoró las cosas el hecho de que el principal organismo de control, el grupo del marfil de la CITES, estuviera mayoritariamente financiado por los mismos comerciantes.

Cuando me hice cargo del Departamento de Conservación de la Fauna estalló la polémica sobre el futuro del comercio. Algunos países africanos (Sudáfrica, Zimbabue y Botsuana) apoyaban su continuación. Sería a pequeña escala y el marfil procedería de animales seleccionados. La CITES era entusiasta de esta postura. En el otro bando de la polémica estaba una creciente cantidad de conservacionistas alarmados ante la palpable carnicería que estaban perpetrando cazadores furtivos armados hasta los dientes. Por las rutas comerciales pasaba más marfil del legalmente

permitido, clara señal de que los controles eran inadecuados en un negocio tan lucrativo. Lo que hacía falta eran datos contundentes del impacto del llamado comercio vigilado en las poblaciones de elefantes. Los datos llegaron en forma de censo continental, misión en la que Iain Douglas-Hamilton desempeñó un papel destacado. Los datos de Iain se incluyeron en un informe del Grupo de Inspección del Comercio del Marfil (Ivory Trade Review Group), entidad independiente fundada por media docena de organizaciones conservacionistas y que sacó a la luz pública la situación del elefante en junio de 1989. Sus conclusiones eran aterradoras. Daré unas cuantas cantidades que hablan por sí solas.

En la década transcurrida hasta 1989 la población de elefantes africanos pasó de un millón trescientos mil ejemplares a 625.000. Esto, recuérdese, en un momento en que, en teoría, el tráfico de marfil estaba bajo control. El censo dinamitó también la idea (a menudo sostenida por los defensores del comercio) de que en los bosques de África central había grandes poblaciones respetadas. Pero los números eran lo menos significativo del asunto. A fin de cuentas, una población de 625.000 individuos parece más bien nutrida y no precisamente en trance de extinción. El verdadero impacto de la carnicería estaba detrás de los números. Los colmillos mayores son propios de los machos maduros, que en consecuencia eran los principales blancos de los cazadores. Los machos comenzaron a escasear al cabo del tiempo. Los machos eran en Kenia el 22 por ciento de los adultos; en algunas zonas de Tanzania, menos del 1 por ciento. La proporción idónea debería ser el 50 por ciento. El efecto sobre las pautas de apareamiento era devastador, ya que las hembras sólo tienen tres días de fertilidad en su ciclo trimestral. Las posibilidades de que una hembra copule con un macho en el momento oportuno disminuyen cuando se ha diezmado el contingente de machos, y en el caso de las poblaciones de Tanzania se reducían prácticamente a cero. Así pues, aunque 625.000 podía parecer una cifra saludable, significa el desastre por la perturbación de las pautas de apareamiento. Pero hay más.

Con los machos grandes liquidados hacía tiempo, los cazadores furtivos se fijaron en las hembras maduras. El resultado se notó en los almacenes de los traficantes. En 1979 se recogieron más de novecientas toneladas de marfil, procedente de unos cuarenta y cinco mil animales; ocho años después, la matanza de treinta y cinco mil animales produjo sólo la tercera parte de esa cantidad, unas trescientas toneladas. Tras la fría estadística de la disminución del peso medio del colmillo (de doce kilos a seis) estaba la dura realidad de que cada vez había menos hembras maduras con vida. Como la sociedad de los elefantes es matriarcal y las hembras maduras representan el nexo de las relaciones de grupo y el acervo de la experiencia y el conocimiento del mundo, la pérdida de estas hembras era una catástrofe. En una población de Tanzania, por ejemplo, sólo el 15 por ciento de los grupos sociales tenía una matriarca, mientras que en las poblaciones intactas la cifra habría sido por lo menos del 75 por ciento.

Estas manadas carecían de cabecilla y se volvían vulnerables a los imprevistos del entorno. La cifra de 625.000, en consecuencia, ocultaba no sólo las pautas alteradas de apareamiento, sino también la alteración de las pautas sociales. La muerte de una hembra madura ponía en peligro la estructura social de su grupo; y a menudo equivalía a la muerte inmediata de la cría inmadura que aún dependía de la comida y protección de la madre. Lo cual era como condenar a la población a una destrucción rápida.

Unos países soportaban mejor que otros la carga de la cacería furtiva. En Kenia, la población, que contaba con 167.000 animales en 1973, estaba en menos de 20.000 en 1989. En Tsavo quedaban apenas cinco mil. En Uganda fue peor aún, ya que las salvajadas de la dictadura de Idi Amín eliminaron prácticamente toda la población. Tanzania perdió el 75 por ciento de la población entre 1979 y 1989. Por el contrario, en países como Sudáfrica, Botsuana y Zimbabue hubo un crecimiento de la población en este mismo periodo, un contraste que introdujo mucha tensión en las negociaciones para desterrar completamente el tráfico de marfil. En estos países, la estricta administración de la fauna solía incluir la reducción selectiva, que, según se decía, no sólo ayudaba a tener poblaciones equilibradas y hábitats saludables, sino que además proporcionaba ingresos a los lugareños con la venta de marfil, piel y carne. Fuera de los parques, los lugareños eran, en algunos casos, los propietarios de la fauna y eran libres de explotarla de manera limitada. Cuando decimos «explotar», en muchos casos queremos decir matar por deporte.

En el Parque Nacional de Kruger, en Sudáfrica, se eliminaban selectivamente unos seiscientos animales al año entre una población de siete mil quinientos elefantes, y los ingresos procedentes de la carne, la piel y el marfil ascendían a tres millones de dólares. El Departamento de la Fauna de Zimbabue recaudaba unos cuatro millones y medio siguiendo esta práctica. Una parte del dinero iba a los parques, otra a las comunidades locales. En todos los casos, argüían los defensores del sistema, los lugareños estaban comprometidos con la protección de la fauna, ya que le sacaban provecho económico. Esta política es un ejemplo de lo que se denomina uso sostenible, concepto que los conservacionistas comentan con acaloramiento creciente en los debates. Personalmente me entusiasma la idea de que la fauna se contemple en términos económicos. Deberíamos emplear los elefantes y los ñúes para generar dinero para escuelas, hospitales y servicios agrícolas. El problema surge cuando nos preguntamos cuál es la mejor forma de conseguirlo.

Hace mucho que me repugna la caza de cualquier clase, así que la idea de competir por un trofeo me resulta inaceptable. Lo mismo me ocurre, en el caso de los elefantes, con la reducción selectiva, cuyos despojos se traducen en ingresos en el mercado. Es imposible estar cerca de los elefantes aunque sea poco tiempo sin percatarse de su sensibilidad como individuos y de su complejidad como grupo. Son

criaturas inteligentes y sociables. Su comunicación tiene niveles y sutilezas, y poseen un entendimiento que podría parecer chocante en unos animales tan voluminosos. No son animales torpes y patosos; son tan mañosos y físicamente elegantes como refinados en su comportamiento. Por tales motivos creo que puede adoptarse una postura ética r frente a la reducción selectiva. Decir no a la reducción selectiva es admitir los derechos de esta especie en un mundo en que deberíamos coexistir.

Esta coexistencia es engañosa, naturalmente. El agricultor que acaba de perder la cosecha de todo un año por culpa de una manada de elefantes, como sucede a veces, tiene las ideas claras. «No deberían estar en mis tierras. Punto.» Como el 40 por ciento de los elefantes de Kenia irrumpe en tierras privadas ajenas a los parques, el problema no es precisamente trivial. Los occidentales deben comprenderlo, porque pocos agricultores de Estados Unidos permiten que los bisontes pasten en sus mieses o que los lobos se paseen entre sus rebaños. Sabemos, por un estudio que yo mismo puse en marcha, que los elefantes son responsables de unos 30 de los 420 millones de dólares que aporta el turismo a Kenia anualmente. Esto pone a los animales individuales un precio económico que se puede sostener de año en año, no como una bonificación por la venta de sus partes. Los conservacionistas y los gobiernos se enfrentan al problema de tener que utilizar estos ingresos tanto para beneficiar a la comunidad en general cuanto para garantizar la pacífica coexistencia de los elefantes y los lugareños. La naturaleza de los elefantes, herbívoros terrestres gigantescos, es lo que convierte este ideal en problema, ya que necesitan un territorio muy amplio en el que recoger diariamente grandes cantidades de vegetación. Los biólogos saben que cuanto más pequeña es la zona de conservación, menor es la cantidad de especies que sobrevive en ella. Los elefantes necesitan un territorio que está entre los más grandes de los que ocupan los vertebrados terrestres, de modo que si un parque aspira a satisfacer todas sus necesidades, para impedir que invadan las tierras particulares tiene que ser muy grande. Encontrar y proteger una región de tierra virgen que sea apta para este fin es muy difícil. Pero, si pudiera hacerse, muchas otras especies, que necesitan un territorio menor, quedarían igualmente protegidas; es el efecto remolque de la conservación.

La polémica sobre el futuro del comercio del marfil culminó en una reunión de los países miembros de la CITES, que tuvo lugar en la ciudad suiza de Lausana en octubre de 1989. Los delegados de África oriental presionaron para que terminase el tráfico; técnicamente se trataba de incluir a los elefantes en la situación del Apéndice I, que reconoce que comerciar con la especie pone su existencia en serio peligro. Lo que argumentaban era que se había visto que el comercio controlado era un fracaso; había además mucho incentivo para el comercio ilegal mediante la cacería furtiva y demasiadas puertas traseras para esquivar las leyes. Sudáfrica, Botsuana y Zimbabue querían un comercio limitado basado en los productos de la reducción selectiva.

Decían que si los lugareños no sacaban beneficio de la fauna, perdían el interés por protegerla, lo que significaba la extinción de los elefantes. El desarrollo del encuentro fue tenso, ya que el tema había acabado por ampliarse. El elefante era algo más que una especie en peligro de supervivencia. Se había convertido en el símbolo de la voluntad de conservar la naturaleza. Se había convertido, como dijo el biólogo David Western, en el buque insignia de la conservación. Si no éramos capaces de salvar de la extinción al mamífero terrestre más grande de las llanuras, ¿qué posibilidad habría de proteger a ninguna otra especie?

Aunque reconocía la sabiduría de beneficiar a las comunidades locales con las ganancias económicas de la fauna, no me cabía la menor duda de que permitir el comercio limitado abriría una puerta a la catastrófica cacería furtiva y que el elefante no tardaría en considerarse, no en peligro, sino extinguido. Muchos compartían esta convicción, pero la reunión prosiguió sin que se supiera qué postura iba a ganar más adeptos. Cuando se llegó a la votación, los participantes apoyaron la inclusión en la situación del Apéndice I, y la prohibición de comerciar con marfil en todo el mundo entró en vigor en enero de 1990. El precio del marfil, que estaba a 250 dólares el kilo en el mercado mundial, se situó en nueve dólares. Quiero creer que la señal de alarma que enviamos al mundo aquel día de junio de 1989 influyó en la opinión de los delegados cuando emitieron el voto crucial en octubre.

No hace mucho la esclavitud se consideraba éticamente aceptable, pero ya no. No hace mucho, matar por deporte chimpancés y gorilas, nuestros parientes evolutivos más próximos, se consideraba igualmente aceptable, pero ya no. Creo que el elefante merece el mismo respeto y la misma protección.

Ya he expuesto mi objeción ética a la reducción selectiva de elefantes y creo profundamente en ella. Pero hay otras objeciones. Los defensores de la reducción selectiva suelen hablar engoladamente de esta práctica como del método «científico» de administrar la fauna, ya que permite, afirman, una forma racional de mantener los hábitats en armonía. La verdad es que su ciencia está anticuada y deriva de la vieja idea del equilibrio de la naturaleza, una forma estática de enfocar el funcionamiento de los ecosistemas. El mensaje que vengo desarrollando en este libro es que la marca de calidad de la naturaleza es, tanto en las escalas temporales largas como en las cortas, el cambio dinámico, no el estatismo. Si queremos que rindan frutos nuestros esfuerzos por conservar las especies y proteger la diversidad biológica, tenemos que asimilar y aprovechar esta realidad. Una visita al Parque Nacional de Amboseli, en Kenia meridional, aportará los últimos detalles a este asunto.

Parque pequeño en casi todos los sentidos (unos 400 kilómetros cuadrados de superficie), Amboseli está dominado visualmente por la cercana presencia del imponente Kilimanjaro, un pico nevado de 5895 metros de altitud, la montaña más

alta de África. Cuando los primeros exploradores europeos informaron al volver de lo que habían observado, pocos les dieron crédito: «¿Cómo puede haber un pico *nevado* tan cerca del ecuador?» Hace sólo unos años, los turistas que hubieran estudiado un mapa previamente se habrían quedado boquiabiertos al comprobar que lo que se describía como «lago Amboseli» era casi en su totalidad una llanura seca con algunos cerros. No se habrían ido desilusionados, sin embargo, porque Amboseli era un mosaico de hábitats que cobijaban la quintaesencia de la fauna africana. Un crucigrama de bosques, pastos, pantanos y arroyos estacionales albergaba miríadas de especies animales. Según Cynthia Moss, que ha estudiado la población de elefantes alojada allí desde 1973, entre dichas especies había «elefantes, rinocerontes, hipopótamos, jirafas, búfalos, cebras, trece especies de antílopes que iban desde el diminuto dikdik hasta el eland, que pesa más de 500 kilos, cuatro especies de primates, tres felinos grandes, perros salvajes, dos especies de hienas, tres de chacales, varias de felinos menores, además de mangostas, jinetas, ardillas, liebres y especies raras como el proteles, la mofeta listada, el oso hormiguero, el damán arborícela, el ratel y el puerco espín. En Amboseli se han catalogado más de 400 especies de aves».[130] Incontables turistas han fotografiado estos animales, con el Kilimanjaro como impresionante telón de fondo.

Hablar del lago Amboseli en 1991 era más hacer historia que describir la realidad. El Kilimanjaro domina Amboseli no sólo visual sino también físicamente, incluyendo el misterioso lago. Hace cinco millones de años, la región era muy distinta a nivel geológico y no sólo por la ausencia del monte. Había un ancho río que discurría en dirección sureste por una llanura relativamente llana que en la actualidad es Amboseli y que desembocaba en el Índico. Hace entre cuatro y dos millones de años, la actividad volcánica elevó la llanura hacia los cielos y acabó construyendo el monte actual. El río, en consecuencia, quedó represado y se formó un lago grande, de unos 600 kilómetros cuadrados, que durante varios millones de años recibió incontables toneladas de sedimentos y cenizas volcánicas. Al final, los escombros acumulados llenaron el lago y desviaron el río, inaugurando en Amboseli una época mucho más seca. Al principio, la alternancia de sequías y riadas produjo hábitats oscilantes en la cuenca, hasta hace unos diez mil años, momento en que la desecación limitó las riadas periódicas a la parte occidental del lago. Tal es la base del hábitat actual.

Si Amboseli tuviese que depender de las precipitaciones para mantener su vegetación, sería como quien dice un desierto. La influencia del Kilimanjaro en el clima local limita las precipitaciones de Amboseli a unos treinta centímetros cúbicos al año, en cambio en las laderas llueve mucho más. Pero lo que el Kilimanjaro quita por un medio lo devuelve por otro. Los acuíferos subterráneos recogen lluvia y nieve derretida del monte, arrastran el agua por cuarenta y cinco kilómetros de lava porosa y la expulsan fría y transparente en forma de fuentes dadoras de vida en la cuenca de

Amboseli. Pantanos, charcas y acequias sostienen una vegetación exuberante que abarca desde el cárex, el papiro y la acacia hasta los altos árboles de la quina. La historia geológica de la cuenca influye mucho en la vegetación actual, por eso vive allí la fauna que puede hacerlo. El largo periodo de acumulación sedimentaria produjo elevadas concentraciones de sales. Al principio, por tanto, sólo las plantas que toleraban la sal consiguieron sobrevivir cuando el lago se secó. Al final, las precipitaciones hundieron las sales en la tierra, permitiendo que se integraran en el ecosistema plantas menos tolerantes a la sal. No obstante, las sales siguen al acecho, en espera de subir y bajar con los cambios del nivel freático, influyendo en la vegetación moderna como un eco lejano del pasado.

Tal como describo el moderno Amboseli, el turista de nuestros días se iría con la poderosa impresión de que la fauna pulula por las llanuras y los bosques, a la sombra del pico más alto de África. Hace cinco millones de años habría sido distinto: un río bordeado de árboles que recorre una llanura inundada, un repertorio de animales diferente del que hay en la actualidad y ningún monte. Incluso hace diez mil años todo habría sido espectacularmente distinto, con un lago de buen tamaño reflejando la grandeza de la montaña. La vegetación y la vida animal habrían sido abundantes, pero la vegetación habría estado limitada a las plantas que tolerasen la sal, reduciendo así la despensa de los animales de la zona. Puede parecer ya un lugar común hacer hincapié en los grandes cambios que se producen en el transcurso de largos periodos, pero lo hago porque es muy fácil sentirse impresionado por la majestad de la geología actual y olvidar que, desde el punto de vista del tiempo evolutivo, es tan efímera como nosotros. Dentro de unos millones de años, el Kilimanjaro será una pálida sombra de lo que es hoy, víctima de la erosión, el tiempo y el cambio.

Quisiera hacer otras dos observaciones sobre Amboseli para ilustrar concretamente las pautas generales relacionadas con la conservación y la biodiversidad. La primera es que pueden producirse cambios espectaculares en el hábitat incluso en periodos breves. No hablo de la aparición de un monte o de la desaparición de un lago; hablo de algo más modesto, a menudo vinculado con las pautas de las precipitaciones. No obstante, incluso estos cambios modestos pueden tener un impacto enorme en la clase de ecosistema superviviente. La segunda es que el rico mosaico de hábitats que describí más arriba, poblado por una elevada diversidad de especies animales, no es sin más el resultado de la interacción del terreno y los recursos hídricos. Hubo algo más que coadyuvó a la formación de su hábitat y a la construcción de su elevada diversidad: *Loxodonta africana*.

Cuando al principio describí el Amboseli actual dije que, hace unos años, los turistas se habrían quedado boquiabiertos ante la disparidad que se percibiría entre las promesas de los mapas y la realidad. Durante la década anterior la región había cambiado de manera notable, volviéndose mucho más seca y con una fracción de la

cubierta vegetal. Los pantanos bajaron de nivel, los papiros se redujeron y, lo más chocante de todo, los bosques quedaron devastados. En la parte central del parque, la mitad de las especies vegetales que habían medrado una década antes había desaparecido. Los tornados se paseaban entre los troncos pelados. Habían desaparecido igualmente varias especies de aves, algunos mamíferos pequeños y algunos herbívoros grandes. Había abundancia de gacelas, ñúes y cebras, que dependen de la hierba, pero los ramoneadores que se alimentan de hojas y brotes, como la jirafa, el impala y el kudu, se veían muy poco. Las clásicas monas, antaño frecuentes, eran muy escasas y la población de babuinos se había reducido a menos de la mitad. Amboseli no era ya un Edén africano. Es casi seguro que a este cambio devastador contribuyeron varios agentes, pero hay discrepancias sobre su identidad. Un culpable que señalan todos es el elefante, atrapado entre el azote de la cacería furtiva fuera del parque y la vegetación reducida dentro de él. No es extraño que volviera a plantearse la delicada cuestión de reducirlos selectivamente.

Es verdad que el parque contenía una elevada población de elefantes y que su densidad era tal vez la mayor de todo el continente: unos 750 individuos en los 400 kilómetros cuadrados. También es verdad que buena parte de este aumento poblacional se debía a que los animales huían de la cacería furtiva que se practicaba fuera de los límites del parque. Los animales estaban a salvo en el parque y lo sabían. Fue inevitable que una densidad de población tan alta repercutiera en la vegetación: a fin de cuentas, un elefante necesita 170 kilos diarios para mantenerse sano. Esta presión aumenta si el agua disminuye, como parece que ocurrió. Pese a todo, me parecía que era demasiado simplista responsabilizar únicamente a los elefantes de Amboseli de la destrucción del hábitat. Había buenos motivos para creer que lo que veíamos formaba parte del ciclo de la naturaleza. Por ejemplo, cuando el explorador Joseph Thomson recorrió la región hace un siglo, Amboseli se parecía más al de 1991 que al de 1981. En su libro *Through Masailand*, publicado en 1887, describió una tierra desolada y estéril. Era, decía, llana y polvorienta, sin árboles, una descripción que habría podido repetirse hace unos años. Sin embargo, había mucha caza, aunque casi seguro que menos que en épocas más lozanas.

Aunque de Amboseli no supiéramos más que estas descripciones de fines del siglo XIX y de los años ochenta y noventa de este siglo, tendríamos que llegar a la conclusión de que había una especie de ciclo natural en funcionamiento: de hoya de polvo a exuberante mosaico de hábitats y luego hoya de polvo otra vez. Con esto tenemos ya suficiente información histórica para saber que durante el último siglo la vegetación del parque ha fluctuado espectacularmente, pasando de bosque denso a llanura estéril, al igual que en otros puntos de África oriental. Estas fluctuaciones suelen ser una respuesta a las pautas del régimen pluvial. Pero en Amboseli los cambios de la capa freática acercan de vez en cuando las viejas sales a la superficie,

donde se ensañan con las raíces de los árboles, causando una muerte lenta. Creo que un cambio en la distribución de la sal subterránea contribuyó a lo que vimos hace poco a ras del suelo. No estoy desestimando el impacto de la población de elefantes en el hábitat de Amboseli ni la presión de los centenares de miles de turistas que atraen estos animales. Pero creo que es un factor más, no la única causa. Si es así, probablemente sean inútiles las medidas a corto plazo que se toman para mejorar la situación, como la reducción selectiva. Buena mano (y mucha paciencia) es sin duda la mejor política para afrontar la administración de la fauna, tanto en tiempos de tensión como en épocas más estables.

Aprendí esta filosofía al comienzo de mi ejercicio como director el Servicio de la Fauna de Kenia. Amboseli y su historia parecían transparentar la siempre cambiante faz de la naturaleza y lanzar una advertencia a los que quieren someterla a su voluntad. Además, para remachar el argumento, Amboseli ha vuelto a cambiar. Durante los tres últimos años el nivel freático ha subido otra vez, los pantanos se extienden, hay destellos lacustres donde los tornados bailaban sobre la tierra sedienta y brotan árboles y arbustos en abundancia. Además, los elefantes ejercen ahora menos presión, porque la desaparición de la cacería furtiva les permite corretear sin miedo fuera de los límites del parque. Y algunas especies que se fueron del parque están regresando. Esta tierra que hay al pie del Kilimanjaro nos enseña una lección que es necesario asimilar para comprender el flujo vital del que formamos parte.

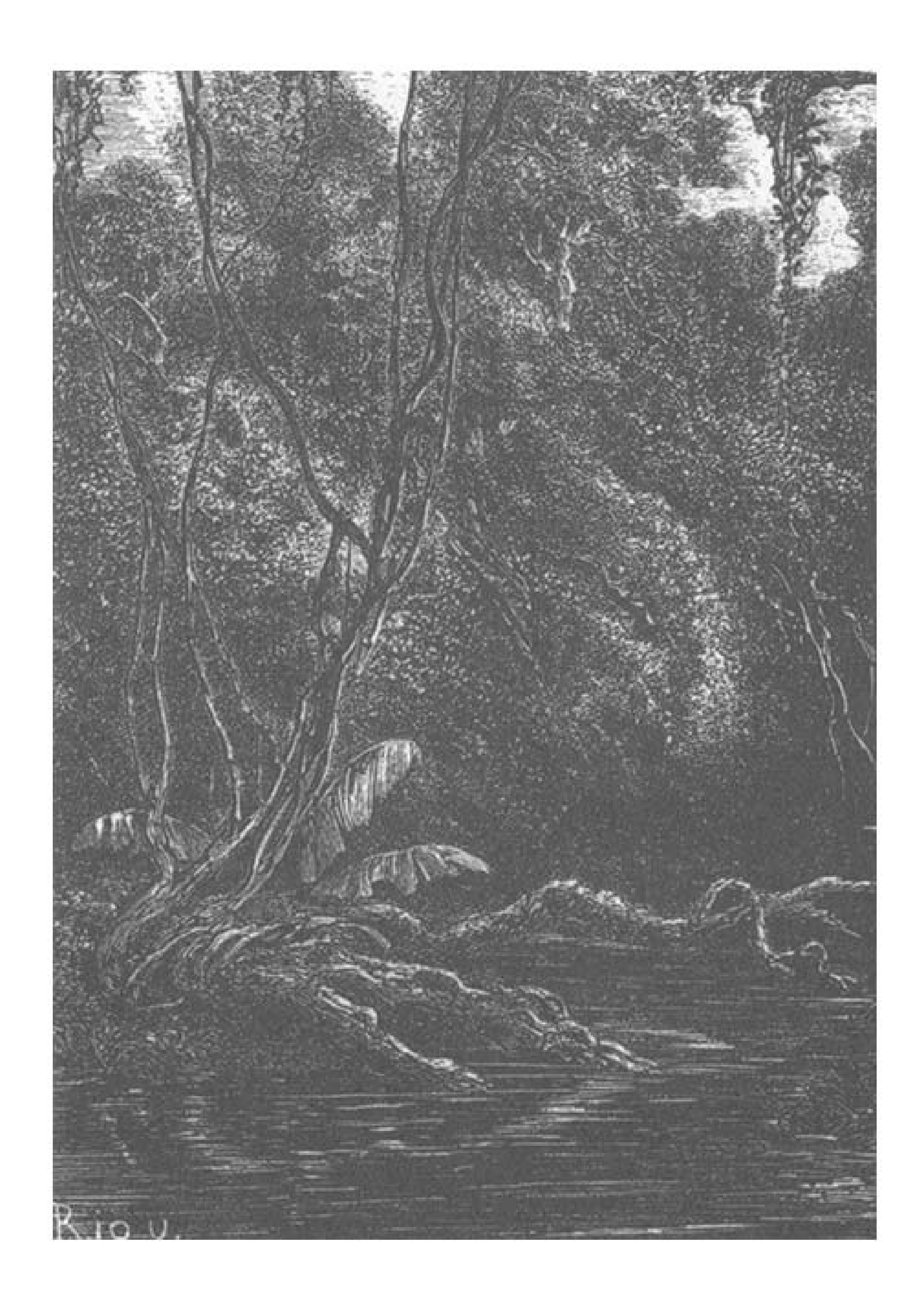
Cuando vemos a un elefante desmochar un árbol o arrancar un tronco joven, lo normal es que nos impresione el poder destructivo del animal. La verdad es que las escenas del Amboseli de hace unos años que he descrito reflejan una destrucción masiva. Pero los biólogos han acabado por enfocar el poder destructivo del elefante de otro modo: como poder creativo. La idea es tan sencilla como efectiva. Destruir árboles en el bosque crea un entorno en el que pueden vivir los arbustos; la destrucción de arbustos en la sabana deja espacio libre para que brote la hierba. Quien haya estado en un bosque denso no habrá podido menos que sentirse sobrecogido por su majestad, por la inmensidad de los árboles que se pierden en las alturas, tal vez chorreando epífitos. Pero al cabo de un rato la extraña inmovilidad del paisaje comienza a introducirse en la conciencia. ¿Dónde están los animales grandes? No están, y las especies que están son pocas; no hay ninguno de los herbívoros que vemos en los bosques y en los prados.

Los biólogos saben ya que los elefantes son un agente fundamental en la creación de hábitats mosaico en los que pueden medrar otras especies: los ramoneadores en el matorral recién formado, los herbívoros en los prados de creación reciente. Los biólogos emplean la expresión «herbívoro clave» para definir esta clase de especies. Y así como un arco se viene abajo cuando se quita la piedra clave, lo mismo le ocurre

a un ecosistema si su herbívoro clave se extingue. El biólogo Norman Owen-Smith, de la Universidad del Witwatersrand en Johannesburgo, dice que es posible observar esto a gran escala en un pasado no muy lejano. Es casi seguro que la predación humana fue responsable de la extinción que sufrieron los herbívoros grandes del continente americano a fines del Pleistoceno, hace diez mil años, admite Owen-Smith. Pero señala que también se extinguieron muchos mamíferos menores y aves, especies que no es probable que fueran víctimas de cazadores preocupados por los mastodontes y los gonfoterios. Eliminados los herbívoros grandes, los claros del bosque se cerraron, el matorral pasó a ser bosque y los mosaicos de hierba se convirtieron en matorrales uniformes. Estos cambios en la vegetación, que pueden apreciarse en el registro fósil del polen, seguramente limitaron el hábitat disponible para los herbívoros menores, originando las extinciones en cadena que vemos en el registro fósil.

Actualmente podemos encontrar pautas parecidas a escala local en las zonas de África donde se ha eliminado a los elefantes. Sin este animal, los fértiles hábitats poblados por herbívoros más pequeños se convierten en matorral o en bosque, sosteniendo muchos menos animales. Se ve claramente al norte de Amboseli, por ejemplo, donde el terreno es matorral uniforme. La conclusión es evidente. Si por una horrible falta de previsión o de voluntad se extingue el elefante, muchas otras especies le seguirán camino de la nada evolutiva. El efecto del elefante como herbívoro clave se pasó por alto en el ruidoso debate sobre el futuro del comercio del marfil, la conveniencia de la reducción selectiva, etcétera, y sin embargo es un elemento vital de la ecuación. El elefante no es sólo una especie en peligro de extinción. Tampoco es sólo un buque insignia de la conservación, una comprobación de nuestra voluntad de respetar y conservar la naturaleza. En su supervivencia se basa la de muchas otras especies que componen la gran diversidad de la fauna africana, la cual forma parte a su vez de la herencia que hemos recibido de millones de años de evolución. Ni más ni menos.

El futuro


Riou.

Un resumen de los últimos conocimientos en biología evolucionista, ecología y paleontología nos aclara la verdadera naturaleza del Homo sapiens en el mundo: somos una simple casualidad de la historia.

El Homo sapiens *es hoy la especie dominante en la Tierra. Por desgracia, nuestro impacto es devastador y, si seguimos destruyendo el entorno como en la actualidad, la mitad de las especies del mundo se extinguirá a comienzos del próximo siglo.*

Aunque el Homo sapiens *está condenado a la extinción, al igual que las demás especies que han existido, tenemos el imperativo ético de proteger la diversidad de la naturaleza, no de destruirla.*

12
Una casualidad de la historia

Estamos viviendo un cambio profundo en nuestra forma de pensar sobre nosotros mismos y sobre el mundo en que vivimos. No es exagerado describir la magnitud de este cambio diciendo que es una revolución intelectual. En los capítulos anteriores he ido mencionando los componentes de este cambio, de modo que estamos en situación de ver más claramente la imagen general. Las líneas separadas y confusas se condensan en un foco unificado y definido, y vemos que la imagen transparenta un concepto del flujo de la vida que es radicalmente distinto de la opinión que ha dominado durante mucho tiempo. Pero habrá que tener paciencia, porque si queremos analizar este nuevo concepto como se merece será necesario repetir por encima algunos temas ya tratados.

Hace falta valentía para asimilar este nuevo concepto (en realidad, una serie de conceptos) porque exige desechar muchas ideas cómodas sobre nuestro lugar en el universo de los seres vivos. La recompensa por percibirnos con claridad en este nuevo marco intelectual es, sin embargo, enorme, no sólo porque así adquirimos un conocimiento más completo del mundo, motor de la hazaña humana durante milenios, sino también porque nos equipa con más eficacia para orientar a la humanidad en el próximo siglo y los que vengan. De este futuro (el futuro inmediato en el gigantesco plan de las cosas) habla esta sección, la última del libro. Por esta razón digo desde ahora mismo que creo que estamos ante una crisis (producida por nosotros) y que si no sabemos capearla con visión de futuro, será como echar sobre las generaciones venideras una maldición de magnitud inimaginable.

Este capítulo describirá la esencia de la revolución intelectual que gira alrededor de nosotros y sus consecuencias, con objeto de comprender más profundamente el flujo vital en el que nos deslizamos con otros muchos compañeros de viaje. Los dos capítulos finales explicarán por qué estamos en una frontera de la historia humana; mejor dicho, cómo hemos levantado esa frontera, por uno de cuyos lados se va a una catástrofe sin precedentes en la historia del planeta y por el otro a cierta armonía con el mundo natural. Si parezco alarmista, es con toda la intención. También añadiré algunas cosas a lo que es exclusivo de este libro: la visión del *Homo sapiens* en el contexto de la historia de la Tierra y, por extrapolación, del futuro de la Tierra. No es un ejercicio fácil, dado que la mente humana está acostumbrada a pensar en términos de décadas o de generaciones, no de los centenares de millones de años que abarca el metrónomo de la vida del planeta. Considerar la humanidad en este contexto pone de manifiesto tanto nuestra importancia en la historia de la Tierra como nuestra insignificancia. Hay una certeza a propósito del futuro humano que burla nuestra

capacidad de imaginar: que un día nuestra especie dejará de existir.

Durante buena parte del presente siglo las dos ciencias gemelas de la biología y la ecología evolucionistas han expuesto una concepción de la vida que, hablando con franqueza, tranquilizaba a la psique humana. Esta concepción procedía del revolucionario y poderoso pensamiento de Charles Darwin y Charles Lyell, un gran naturalista y un gran geólogo, respectivamente. La historia de la Tierra, decían, progresó pacífica y gradualmente por el gigantesco calendario del tiempo, tanto en el aspecto biológico como en el geológico. Todas las grandes formaciones geológicas, tanto los barrancos profundos como las altas montañas, se construían gracias a la acumulación uniforme de cambios pequeños; y también poblaban la superficie continental y el fondo del mar de una extravagante diversidad de vida, en la que el *Homo sapiens* no era más que una entre muchos millones de especies. Para comprender por qué Darwin y Lyell pensaban así interesa recordar que estaban reaccionando ante una tradición intelectual anterior que sostenía que la Tierra y sus habitantes eran el triste fruto de crisis o catástrofes ocasionales. Con cada catástrofe, las bárbaras convulsiones de los continentes enviaban la biota de la Tierra al limbo de los justos y la reemplazaban por un abanico de formas de vida inéditas y más avanzadas.

Aunque no todos los defensores del catastrofismo encuadraban sus ideas en el contexto religioso, la hipótesis no podía eludirlo: las fuerzas divinas forjaban la destrucción, del mismo modo que habían alimentado la creación. Casi nadie creía que la Tierra y las criaturas vivas que contenía hubieran podido formarse de otra manera. Cuando Lyell demostró que incluso las estructuras geológicas más gigantescas podían formarse lentamente durante largos periodos de tiempo y Darwin elaboró una teoría para explicar el origen del sinfín de formas de vida, presentaron en conjunto un punto de vista, el gradualismo, que en apariencia era más científico que el catastrofismo, dado que no recurría a la intervención divina. El catastrofismo había muerto. La era de la biología y la geología modernas había nacido, y la partera había sido la idea omnipresente del gradualismo.

Lo más importante, y capital en la concepción darwiniana, era que el flujo de la vida estaba orientado por una incesante lucha por la existencia en la que los más aptos medraban y los menos aptos sucumbían. Las especies estaban enfrascadas en una pelea continua, con otras especies y con el entorno físico, problemas gemelos a los que la selección natural respondía moldeando adaptaciones convenientes. La supervivencia era la señal del triunfo en la lucha, la extinción la señal del fracaso. En anteriores capítulos he citado muchos pasajes de Darwin en relación con este particular, pero repetiré aquí uno, ya que sintetiza una forma de pensar que sin duda era importante cuando se escribió: «Como la selección natural opera únicamente por y para el bien de cada ser, todas las facultades corporales y mentales tienden a

avanzar hacia la perfección».[131]

De esta concepción surgen dos consecuencias. La primera es que la historia de la vida que vemos escrita en los fósiles es un registro de esa lucha, una sucesión uniforme de perdedores y vencedores en la carrera de la vida, desde la época más remota hasta la más reciente. Como la selección natural crea adaptaciones mediante pequeñísimos aumentos, la trayectoria del cambio evolutivo es lenta y uniforme. La segunda consecuencia es que, como el flujo de la vida está orientado por el triunfo de formas de perfección creciente, la dirección y forma del flujo son, en muchísimos aspectos, inevitables. La progresión de los peces hasta los anfibios, los reptiles y los mamíferos (y al final hasta nosotros) refleja el desarrollo de la vida, no tal como fue, sino tal como debió ser. En esta concepción, la casualidad, el azar, no desempeña ningún papel en la dirección y organización del flujo de la vida, algo que también es válido para la aparición final del *Homo sapiens*.

Ya dije antes que esta concepción tradicional tranquilizaba la psique humana y entendemos por qué. Nos molesta la inseguridad y el azar nos repugna, sobre todo cuando se trata de nuestra existencia. No nos gusta pensar que nuestro ser es el resultado de una evolución que juega a los dados. La concepción tradicional que acabo de describir nos da consuelo, porque sostiene que nuestra sola existencia ya da fe de nuestra superioridad y que la vida se encaminó en nuestra dirección desde el principio. Recordemos cómo lo expresó el paleontólogo Robert Broom en *The Corning of Man: Was It Accident or Design?* (La aparición del hombre: ¿casualidad o designio?), de 1933: «Parece como si buena parte de la evolución se hubiera planeado para que desembocara en el hombre, y en otros animales y plantas para que el mundo fuera un lugar apto para él».[132] Es una afirmación extrema, pero sintetiza la esencia de un modo de pensar que impregnaba todas las empresas académicas.

Tenemos que afrontar la realidad de que es un modo de pensar equivocado. No ha habido ninguna progresión uniforme desde las formas simples hasta las complejas en el curso de la historia de la Tierra. Las formas simples surgieron muy al principio, es verdad. Pero como ya vimos en el capítulo 2, aquella temprana simplicidad se mantuvo inmutable durante miles de millones de años, sin que durante seis séptimas partes de la historia del planeta apareciera nada más complejo que organismos unicelulares. Cuando por fin apareció la complejidad, hace 530 millones de años, en forma de organismos pluricelulares, lo hizo de manera explosiva; menos de cinco millones de años después (un instante en el tiempo geológico) la innovación evolutiva producía un sinfín de formas de vida pluricelular. Así pues, el flujo de la vida no es uniforme, sino altamente imprevisible. (En realidad, como ya adujeron Stephen Jay Gould y Niles Eldredge en su teoría del equilibrio puntuado, la producción de innovaciones evolutivas, lejos de proceder gradualmente, tiende a concentrarse, cuando se habla de periodos muy largos, en momentos de múltiples

cambios.)

La realidad de la explosión cámbrica, sin embargo, sólo fue medianamente perturbadora para nuestra psique, porque podíamos aferramos a la idea de que, por imprevisible que fuera, la dirección del flujo de la vida aún podía predecirse en cierto sentido, y todavía éramos su producto inevitable. Los últimos conocimientos sobre la historia de la vida posterior a la explosión cámbrica nos quitaron de las manos éste argumentó, como ya vimos en el capítulo 3. La desenfrenada experimentación de la explosión cámbrica produjo por lo menos un centenar de formas de vida o planes estructurales. Al cabo de unos millones de años sólo quedaba una parte y aquellos supervivientes fueron las piececillas de colores del caleidoscopio de la vida actual. Si los supervivientes se hubieran salvado de la extinción por alguna superioridad inherente, nos sentiríamos muy tranquilos sabiendo que somos los descendientes de unos respetables triunfadores. Pero no es así. No había nada superior en los supervivientes ni inferior en las víctimas de aquella primera extinción en masa. Fue, como ha dicho Gould hace poco, «la lotería más grande con que se haya jugado en este planeta»,[133] y sucede que descendemos de uno de los que tuvieron la suerte de ganar. Compartimos el mundo contemporáneo con descendientes de otros afortunados ganadores. Si el bombo se pusiera a dar vueltas otra vez, podría aparecer otra escudería de ganadores, que produciría una serie de planes estructurales diferentes, los cuales serían la base de la vida actual. No hay duda de que muchos aterrizarían en el extremo, a juzgar por las raras formas de vida que desaparecieron durante aquella primera extinción. Hay que aceptar, pues, que el mundo vivo del que formamos parte no es sino uno de los incontables mundos posibles, no el único inevitable. Es más bien, y sencillamente, una contingencia de la historia.

Entre los elementos de la actual revolución intelectual, uno de los más importantes es la nueva forma de enfocar la naturaleza de la extinción. Darwin, recordémoslo, recelaba de que se hablase de extinciones masivas y explicaba los indicios de las mortandades en masa del registro fósil diciendo que eran un artefacto producto de un registro incompleto. La extinción en masa olía a catastrofismo, y esto era tabú para él. Al final, la realidad de las extinciones ocasionales se hizo irrefutable, minando aún más la intocable idea del flujo uniforme de la vida. Como vimos en el capítulo 4, cinco grandes crisis bióticas jalonaron dicho flujo, produciendo la extinción del 95 por ciento de las especies en un parpadeo geológico. Por extraño que parezca, aunque las extinciones se admitieron como factor capital de las pautas de la historia de la vida, su carácter siguió siendo un terreno descuidado por los estudiosos. Se consideraban complejas y difíciles de entender. Pese a todo, los biólogos suponían que, fuera cual fuese la causa, tales acontecimientos intensificaban la lucha por la existencia, condenando al olvido evolutivo a cantidades insólitamente elevadas de especies en periodos muy breves. La extinción en masa se consideraba únicamente

una extinción normal, o de fondo, sólo que a mayor escala. Y, al igual que en periodos normales, la supervivencia durante tales acontecimientos se tenía por señal de superioridad adaptativa, y la desaparición por señal de inferioridad.

El reconocimiento, hace sólo unos años, de que las extinciones en masa no son versiones exageradas de los procesos de extinción de fondo es uno de los descubrimientos más importantes de la biología evolucionista de este siglo. Sea cual fuere la causa, las extinciones en masa se rigen por leyes distintas de las que dominan durante la extinción de fondo. La evolución darwiniana, importante en periodos de extinción de fondo, se suspende durante las crisis bióticas. La supervivencia durante estos episodios no depende de la calidad adaptativa de una especie, sino de propiedades como la distribución geográfica de los grupos de especies o ciados (los ciados localizados son vulnerables; los ciados extendidos resisten mejor, sin que importe cuántas especies contienen) y el tamaño corporal (las especies grandes son más vulnerables que las pequeñas). La inevitable conclusión es que, durante las extinciones en masa, la supervivencia de una especie tiene tanto que ver con la buena suerte como con los buenos genes, por emplear la pegadiza expresión de David Raup.

Como ya señalé más arriba, los mamíferos enterraron a los dinosaurios, no por una superioridad inherente, sino porque así salieron los dados del cubilete. Su pequeño tamaño contribuyó sin duda a su supervivencia. No todos los linajes mamíferos salieron bien librados de aquel acontecimiento que se produjo hace sesenta y cinco millones de años. Algunos se extinguieron. Y que el linaje primate estuviera entre los supervivientes fue, una vez más, cuestión de suerte, no de superioridad. Si el *Purgatorias* hubiera estado entre los perdedores, no habría habido prosimios, ni simios, ni monos superiores… ni humanos.

No se puede eludir la conclusión de que, por especial que sea el *Homo sapiens* en muchos aspectos (sobre todo en creatividad y conciencia de sí), nuestra existencia no fue inevitable. Peor aún, comporta un grado de azar que a muchos les costará admitir. Pero es verdad. Como dije en el capítulo 5, «no somos más que una especie entre los millones que pueblan la Tierra, resultado de quinientos millones de años de flujo vital, supervivientes afortunados de al menos veinte crisis bióticas, entre ellas las catastróficas Cinco Grandes». Desde un punto de vista casero es uno de los hallazgos más profundos de la actual revolución intelectual, pero para el mundo vivo en general no es el más importante.

Las extinciones en masa se consideraban antaño colosales interrupciones del flujo de la vida que asestaban un golpe mortal a muchas especies, pero sin perfilar la evolución. Los biólogos creían que la selección natural era lo que la perfilaba. Pero sabemos ya que las leyes de muerte son distintas durante estos periodos y que la supervivencia comporta una importante cantidad de azar. Estos factores y no la selección natural son los que determinan qué especies sobreviven y cuáles no,

convirtiendo las extinciones en masa en una fuerza fundamental en la formación de las pautas de la historia de la vida. La verdad es que entre los agentes que influyen en la pauta general, son la fuerza por excelencia. Como observó David Raup, «la extinción, y en particular la (masiva, se puede considerar un ingrediente vital de la evolución de la vida compleja tal como la conocemos».[134] Entre los elementos que integran la actual revolución intelectual, esta observación es de máxima importancia. Pero hay más.

Más arriba he utilizado varias veces la expresión «fuera cual fuese la causa» en relación con las extinciones masivas. Esta inconcreción equivale a reconocer que la génesis de estos acontecimientos es realmente muy compleja y difícil de entender, y en la actualidad es uno de los temas que los biólogos evolucionistas y los paleontólogos discuten con más vehemencia. Ya describí más arriba algunos de los agentes que pudieron intervenir, por ejemplo el cambio de la temperatura global y el retroceso del nivel del mar. Pero, tal como vimos en el capítulo 4, no se niega en la actualidad que por lo menos un acontecimiento (la extinción cretácica de hace sesenta y cinco millones de años) y tal vez otros (o, en última instancia, todos) fue o fueron producidos por el choque de la Tierra con un asteroide gigante o un cometa. Admitir que las extinciones en masa desempeñan un papel vital en la estructuración de la historia de la Tierra fue de gran importancia en el desarrollo de la teoría evolucionista. La idea de que los acontecimientos sean resultado de impactos extraplanetarios es realmente atractiva. Nos obliga a olvidarnos del mundo darwiniano estructurado por fuerzas comprensibles e identificables en la vida cotidiana y a aceptar otro que es la pobre víctima de un universo tornadizo. Ya no existe la imagen donde el flujo de la vida era uniforme y previsible, con los humanos como culminación inevitable del proceso; lo que la sustituye es un mundo caprichoso e imprevisible donde el lugar propio se consigue con no poca suerte. El catastrofismo ha vuelto; y es verdadero.

He hablado de las ciencias gemelas de la biología evolucionista y la ecología en el contexto de la actual revolución intelectual, pero hasta ahora me he referido sólo a la primera. Un cambio parecido de concepción del mundo se ha producido en ecología, sobre todo en lo que respecta a cómo las comunidades ecológicas son como son. En el capítulo 9 dije que, hasta hace poco, los ecólogos creían que las comunidades ecológicas son como son porque así es como deben ser. Admito que esto es simplificar el contenido de esta postura, pero lo que quiero decir es que se parece a la idea darwiniana de la inevitabilidad del flujo de la vida en el tiempo evolutivo. En el marco temporal, más breve, de la agrupación de las comunidades ecológicas, las leyes que se consideraban dominantes eran las mismas que las que generaban la adaptación por selección natural: las especies interaccionan entre sí y con el entorno físico, originando una armonía sintetizada en la expresión «equilibrio

de la naturaleza». Los ecólogos creían que la composición de una comunidad en un punto concreto reflejaba las condiciones de dicho punto, y que era diferente de otra comunidad situada en otro punto, con condiciones distintas.

Salta a la vista que la interacción de las especies en una comunidad es importante por su composición: los hongos sostienen las raíces de las plantas; las hojas de las plantas sostienen a los insectos; los insectos a los pájaros; y así sucesivamente. Y no es menos evidente que las especies están adaptadas a ciertas condiciones físicas locales. Pero como ya expuse en el capítulo 9, los ecólogos admiten hoy que estas influencias sólo son parte de la explicación de por qué las comunidades son como son. Así como los biólogos evolucionistas han tenido que admitir que el azar desempeña un papel significativo en el flujo de la vida, también los ecólogos han tenido que admitirlo en su propio terreno. Los miembros de una comunidad ecológica no conviven en envidiable armonía, en equilibrio natural. Buena parte de la forma y comportamiento de una comunidad está determinada por la interacción caótica y por la aparición, en el seno de la comunidad, de propiedades (como la resistencia a la invasión) de explicación difícil. La concepción antigua creía que las comunidades eran previsibles y estáticas. La actual dice que son imprevisibles (incluso misteriosas) y dinámicas. Y este estado dinámico contribuye a la diversidad biológica del mundo, que en última instancia es lo que aquí interesa. En contra del sentido común, el cambio incesante (el estado dinámico) es el origen de la estabilidad a largo plazo en las comunidades; querer bloquear el cambio a corto plazo garantiza el cambio destructivo a largo plazo.

Los humanos anhelan la previsibilidad, en relación con el mundo natural que nos rodea y, sobre todo, en relación con nuestra existencia y nuestro futuro. Pero es evidente que, en el terreno de la biología evolucionista y la ecología, nuestro mundo es imprevisible y nuestro lugar en él una casualidad de la historia; es un lugar de muchas posibilidades, sensibles a fuerzas que escapan a nuestro gobierno y, por lo menos en algunos casos, a nuestra comprensión inmediata.

Nuestro mundo es menos seguro de lo que pensábamos, pero por ello mismo también más interesante.

13
La sexta extinción

Seremos una casualidad de la historia, pero es indudable que el *Homo sapiens* es la especie más dominante sobre la Tierra actualmente. Llegamos tarde al teatro evolutivo y en un momento en que la diversidad de la vida del planeta estaba cerca de la cota más alta de su historia. Y como vimos en el capítulo 10, llegamos equipados con la capacidad de devastar esa diversidad dondequiera que fuésemos. Dotados de razón y conocimiento, avanzamos hacia el siglo XXI en un mundo que es obra nuestra, un mundo artificial en que la tecnología proporciona (por lo menos a algunos) comodidad material y el ocio permite una creatividad artística sin precedentes. Hasta la fecha, por desgracia, la razón y el conocimiento no nos han impedido explotar colectivamente los recursos de la Tierra (biológicos y físicos) en proporciones incomparables.

El *Homo sapiens* no es, evidentemente, la primera criatura viva que produce un impacto espectacular en la biota de la Tierra. La aparición de microorganismos fotosintetizadores, hace unos tres mil millones de años, comenzó a transformar la atmósfera, elevando relativamente sus niveles de oxígeno y llegando a cotas muy próximas a las actuales en el curso de los últimos mil millones de años. Gracias al cambio fueron posibles formas de vida muy diferentes, entre ellas los organismos pluricelulares; y muchas formas que habían prosperado en un entorno con poco oxígeno fueron desterradas a hábitats marginales. Pero el cambio no lo forjó una sola especie sensible que conscientemente fuera en pos de sus objetivos materiales, sino incontables especies insensibles que, colectiva e inconscientemente, abrían nuevos senderos metabólicos. La razón y el conocimiento que aparecieron durante nuestra historia evolutiva dotó a nuestra especie de una flexibilidad de comportamiento que nos permite multiplicarnos y crecer con entera libertad prácticamente en todos los ambientes de la Tierra. La evolución de la inteligencia humana, por tanto, dilató el potencial de la expansión y el crecimiento poblacionales, de modo que, colectivamente, los seis mil millones de humanos que viven en la actualidad representan la máxima proporción de protoplasma que hay en el planeta.

Succionamos nuestro sostén y nuestro mantenimiento del resto de la naturaleza de un modo sin parangón en la historia del mundo, reduciendo sus dones mientras aumentan los nuestros. Somos, como ha dicho Edward Wilson, «una anormalidad ambiental». Las anormalidades no duran eternamente; al final desaparecen. «Es posible que estuviera previsto que otorgar inteligencia a la especie indebida fuera una combinación mortal para la biosfera», sugiere Wilson. «Puede que sea una ley de la evolución que la inteligencia tienda a extinguirse sola».[135] Si no una «ley», tal vez sí

una consecuencia habitual. Lo que nos preocupa es cómo evitar un destino de esta clase.

Cuando hablo de reducir los dones de la naturaleza, me refiero a la extinción de especies que está teniendo lugar actualmente a consecuencia de las diversas actividades humanas. En el capítulo 10 describí el rastro de destrucción biótica que los humanos dejaban tras de sí cuando se lanzaban sobre ambientes nuevos en el pasado prehistórico e histórico; a los colonos que aniquilaban elevadas cantidades de especies de las tierras recién ocupadas, cazando y despejando hábitats. Algunos estudiosos actuales arguyen que sólo fue un episodio pasajero en la aventura humana y que, a pesar de la masiva expansión poblacional de nuestros días, hablar de una extinción continua de especies es una falsedad. Por lo que he dicho en los últimos párrafos, es evidente que yo no soy de los que piensan así. Creo que la extinción causada por el hombre continúa en la actualidad y que está aumentando a velocidad alarmante.

En lo que queda de capítulo argumentaré mis preocupaciones. En el capítulo final del libro preguntaré si nos afecta o no, a nosotros y a nuestros hijos, que al menos el 50 por ciento de las especies de la Tierra pueda desaparecer a finales del siglo que viene. También hablaré del futuro a largo plazo, lo cual sitúa a nuestra especie en un contexto geológico mayor, con el resto de los habitantes de nuestro mundo. Y sugeriré que lo que hemos aprendido de la revolución intelectual que he bosquejado en el capítulo anterior exige que adoptemos una postura ética ante el impacto del *Homo sapiens* en la biodiversidad de que formamos parte.

Los humanos ponen en peligro la existencia de otras especies de tres maneras fundamentales. La primera es la explotación directa, como la caza. De las mariposas a los elefantes, pasando por los jilgueros, el deseo humano de coleccionar o devorar partes de criaturas salvajes pone a muchas especies en trance de extinción. La segunda es el destrozo biológico que se produce ocasionalmente a raíz de la introducción de especies foráneas en ecosistemas nuevos, deliberada o casualmente. Ya hablé de la convulsión biológica sufrida por las islas Hawai por culpa de las incontables especies de aves y plantas que llevaron los antiguos polinesios y después los colonos europeos. Una devastación de magnitud semejante se está produciendo en la actualidad en el lago Victoria, donde han desaparecido más de doscientas especies de peces en la última década. Les Kaufman, ecólogo de la Universidad de Boston que ha estudiado el acontecimiento minuciosamente, dice que es «la Hiroshima del apocalipsis biológico, la prueba, la advertencia de que hay más en camino».[136] Aquí intervienen varios factores en interacción, por ejemplo la pesca excesiva y la contaminación, pero el culpable principal es la voraz perca nilota, que se introdujo en

el lago hace unas cuatro décadas para aprovechar comercialmente su pesca.

La tercera y más importante forma de poner en peligro otras especies es destruir y fragmentar hábitats, y en concreto talar pluvisilvas tropicales. Los bosques, que cubren sólo el 7 por ciento de la superficie terrestre del mundo, son un caldero de innovaciones evolutivas y albergan la mitad de las especies del planeta. El crecimiento continuo de las poblaciones humanas en todos los rincones del mundo estrangula los hábitats vírgenes, ya sea por la expansión de la tierra cultivable, la construcción de ciudades y pueblos o el transporte de la infraestructura que los une. Conforme se reducen los hábitats, se reduce igualmente la capacidad de la Tierra para sostener su herencia biológica.

El ecólogo Norman Myers, de la Universidad de Oxford, fue el primero que llamó la atención sobre la inminente catástrofe de la deforestación en su libro *The Sinking Ark* (El arca de los despojos), de 1979. Si el porcentaje de árboles abatidos se mantenía al ritmo dominante, que según Myers llegaba a ser del dos por ciento al año, el mundo «habrá perdido en el año 2000 la cuarta parte de sus especies». Durante la década y media transcurrida desde la publicación de *The Sinking Ark* han estallado encendidas polémicas sobre la realidad de las cifras. ¿Están desapareciendo los bosques al ritmo que se dice? Y aunque así fuese, ¿de veras desaparecería el 50 por ciento de las especies del mundo?

Al principio, las profecías de Myers (y otros) se escucharon con simpatía, hasta que al final generaron alarma y preocupación verdaderas entre los biólogos y los políticos. Los organismos de peso hicieron declaraciones serias: «La crisis de la extinción de especies es una amenaza para la civilización sólo superada por la amenaza de la guerra termonuclear», dijo el Club de la Tierra al comienzo de la importante conferencia sobre la biodiversidad que se celebró en Washington D. C. en septiembre de 1986. La declaración conjunta que hicieron hace poco la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos y la Royal Society de Londres merece la más alta valoración: «El ritmo general del cambio ambiental ha aumentado sin lugar a dudas a causa de la reciente expansión de la población humana… El futuro de nuestro planeta radica en el equilibrio». Los ecólogos fueron igual de taxativos. Citaré a dos de los más destacados. El biólogo Paul Ehrlich, de la Universidad de Stanford, dijo en la conferencia de Washington que «ningún biólogo discute que haya una crisis en la biodiversidad». Edward Wilson añadió en el mismo encuentro que «prácticamente todos los estudiosos del proceso de extinción están de acuerdo en que la diversidad biológica está en el centro de su sexta gran crisis, esta vez por intervención exclusivamente humana».

Hace muy poco, sin embargo, se ha producido una reacción, y a los apocalípticos se les acusa de exagerar las cosas o, peor aún, de inventarlas. En diversas publicaciones han aparecido artículos que se expresan con escepticismo a propósito

del presunto peligro. Por ejemplo, hace poco se publicó en la revista *Science* un artículo titulado «La extinción: ¿están los ecólogos gritando que viene el lobo?»;[137] y el número del 13 de diciembre de 1993 de *U. S. News and World Report* traía un reportaje titulado «Mitos del Día del Juicio Final». Estos y otros artículos sugieren básicamente que, aunque los ecólogos crean que muchas especies están extinguiéndose o a punto de extinguirse, en realidad no lo saben con certeza. Julián Simón, de la Universidad de Maryland, viene diciéndolo desde hace una década e incluso ha elevado la voz últimamente. Simón, el más destacado de los antialarmistas, escribió en un artículo de 1986 que «los datos disponibles… no se corresponden con el nivel de preocupación».[138] En un debate con Norman Myers, celebrado en Nueva York, en 1992, Simón repitió su idea: «Los datos reales sobre los índices de especiación comprobados están en tremendo desacuerdo con… el supuesto peligro».[139] Fue más directo en un artículo de opinión que publicó en el *New York Times* del 13 de mayo de 1993: de las opiniones de varios ecólogos que afirmaban que los índices de extinción actuales eran equivalentes a los de una extinción en masa dijo que «carecían de todo fundamento científico» y que eran «mera conjetura».[140] El profesor Simón es el maestro Pangloss del medio ambiente.

¿Por qué estas críticas contra científicos cuyo fuerte es, en teoría, el conocimiento de la dinámica de la biodiversidad? Es posible, entre otras razones, que a causa de lo sobrecogedor del mensaje, éste no se quiera oír; o que, si se oye, no se quiera creer. Una extinción en masa causada por el hombre es una idea sobrecogedora. Las previsiones de los ecólogos, en consecuencia, tenían que considerarse «peroratas de retorcidas Casandras de la biología», en palabras de Thomas Lovejoy, del Instituto Smithsoniano.[141] Otro motivo de la incredulidad fue sin duda la disparidad entre las previsiones de distintas autoridades a propósito de la magnitud de la inminente extinción, que iba de 17.000 especies al año a más de 100.000. Si los expertos están tan inseguros de la magnitud de la presunta extinción, se preguntaban los críticos con toda justicia, ¿cómo podemos creer lo que nos dicen?

Hay, según creo, otra razón, que tiene que ver con una inseguridad diferente: la que tenemos sobre nosotros mismos. Si admitimos que las especies se pueden extinguir con la facilidad con que nos dicen los ecólogos, puede que el dominio del *Homo sapiens* sea menos seguro de lo que nos gustaría creer. Puede que también nosotros estemos condenados a extinguirnos. Nos molestan las incertidumbres sobre nuestros orígenes, pero aún nos molestan más las incertidumbres sobre nuestro futuro.

Las dos preguntas pertinentes, recordémoslo, son éstas: ¿se están talando los bosques tropicales a la velocidad que dicen Norman Myers y otros? Si la respuesta es afirmativa, ¿qué impacto producen en las especies que viven allí? La primera es más fácil de responder, sobre todo porque el acontecimiento se puede observar

directamente.

La estimación que hizo Myers en 1979 de un 2 por ciento de bosque talado al año se basaba en una acumulación de observaciones graduales realizadas en diversas partes del mundo, cuyos resultados se extrapolaron al resto del planeta. El porcentaje citado equivale a unos 200.000 kilómetros cuadrados al año, es decir, más de media hectárea por segundo. Durante los años ochenta y principios de los noventa se hicieron docenas de estudios para comprobar si esto era cierto. Unos dijeron que era una exageración, otros que la cantidad se quedaba corta. Actualmente, gracias a las extensivas imágenes de la superficie de la Tierra que se captan por satélite, la respuesta vence toda duda razonable. Por ejemplo, dos informes independientes de comienzos de los años noventa, uno del Instituto de Recursos Mundiales de Washington (World Resources Institute), el otro de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), publicaron cifras del orden de los 200.000 kilómetros cuadrados de bosque perdidos cada año. (Es decir, entre el 40 y el 50 por ciento más que una década antes.) A este ritmo de destrucción, los bosques tropicales quedarán reducidos al 10 por ciento de su extensión primitiva a comienzos del siglo que viene y a una diminuta mancha en los mapas hacia el año 2050. Sólo un oscurantista a ultranza negaría estas cantidades.

Una reducción de esta magnitud ya es funesta para la supervivencia de las especies de los bosques, pero hay cosas peores aún. Un reciente reconocimiento por satélite revela que incluso donde no se tala el bosque, a menudo queda fragmentado en «islas» ecológicamente frágiles. En un grandioso experimento que comenzó a fines de los años setenta en la selva brasileña, Thomas Lovejoy y sus colegas se pusieron a estudiar la capacidad sustentadora de varias islas de distinto tamaño. Como las islas medían entre una y doce mil hectáreas, la empresa es el experimento biológico más grande de la historia. Un resultado que ya se esperaba dice que las especies se extinguen más rápida y extensivamente en los territorios pequeños que en los grandes. Entre las especies vulnerables está las que necesitan mucho espacio, por varios motivos. Y, como ya vimos en capítulos anteriores, la extinción de estas especies origina a menudo la extinción de otras, aunque éstas no necesiten un territorio grande. Por ejemplo, a comienzos del experimento desaparecieron tres especies de ranas de un terreno de 125 hectáreas, y ello porque el hábitat era demasiado pequeño para sostener pecaríes, cuyos revolcones en el barro creaban charcas para las ranas. Estas extinciones en cadena continúan durante muchos años después de la formación de la isla. Otras especies se vuelven vulnerables a la extinción en las islas pequeñas a causa de la pequeñez del tamaño poblacional que puede mantenerse en ellas. Las poblaciones pequeñas pueden sucumbir ante la súbita declaración de enfermedades o la aparición de perturbaciones exteriores, por ejemplo las tormentas, mientras que las poblaciones grandes pueden capear estos

acontecimientos.

Un resultado del experimento que sin embargo no se esperaba es que las islas grandes son menos resistentes de lo que se había imaginado. La causa es el llamado efecto de borde. Los hábitats del centro del bosque están hasta cierto punto protegidos de las perturbaciones exteriores, pero los que se encuentran en la frontera entre el bosque y los herbazales, por ejemplo, están a merced de los vientos, de microclimas que varían espectacularmente dentro de un área reducida, de las incursiones de animales foráneos y cazadores humanos, y de otras circunstancias hostiles. El resultado es que son vulnerables a la extinción las especies animales y vegetales que se encuentran en un cinturón periférico de unos ochocientos metros de anchura. El efecto de borde es, pues, importante incluso en los bosques grandes. Este descubrimiento ha adquirido particular protagonismo gracias a los últimos reconocimientos por satélite, que ponen de manifiesto que la tala ha hecho vulnerable al efecto de borde una proporción de la pluvisilva amazónica muchísimo mayor de lo que se creía. «Las consecuencias para la diversidad biológica no son alentadoras y refuerzan la voluntad de minimizar la deforestación tropical», informaron los investigadores en *Science*.[142]

La variable clave de la ecuación, sin embargo, es el efecto de la pérdida y fragmentación del bosque sobre la supervivencia de las especies. Antes de proseguir, sin embargo, convendría subrayar que la pérdida de hábitats no es una exclusiva de los bosques tropicales. Por ejemplo, un estudio del Servicio Biológico Nacional de Estados Unidos informó en febrero de 1995 que, en el curso del presente siglo, la mitad de los ecosistemas naturales del país se ha degradado hasta el punto de estar en peligro. En estos momentos hay comunidades enteras al borde de la extinción. En otro estudio publicado un mes más tarde, el mismo organismo decía que «si no se les pone freno, las actividades humanas seguirán ocasionando desequilibrios en las interacciones de las especies, alteraciones de los ecosistemas y la destrucción extensiva de hábitats». Está claro que la preocupación por el futuro de nuestra herencia biológica debe tener efecto en todos los países del mundo, no sólo en los más pobres y en los que están en vías de desarrollo.

Como ya dije, el crecimiento de la población humana global está estrangulando los hábitats naturales, por la construcción de aldeas, pueblos y ciudades, y de la infraestructura que los acompaña, y por la producción de alimentos de origen vegetal y animal. La población humana se ha extendido de manera espectacular en la historia reciente, como todo el mundo sabe. De quinientos millones que éramos en 1600 pasamos a mil millones en 1800; en 1940 éramos casi tres mil millones; en los últimos cincuenta años esta cantidad se ha multiplicado por dos, llegando casi a seis mil millones; está previsto que en los próximos cincuenta años volverá a multiplicarse por dos, y por entonces seremos más de diez mil millones. Si todas

estas personas quieren vivir por encima del nivel de pobreza que domina en muchas de las regiones menos desarrolladas del mundo actual, la actividad económica global tendrá que multiplicarse por lo menos por diez. ¿A qué precio?

Incluso en la actualidad, los humanos consumimos el 40 por ciento de la productividad primaria neta (PPN) del planeta, es decir, el 40 por ciento de la energía total contenida en los procesos fotosintéticos de todo el mundo, menos la que necesitan las mismas plantas para su supervivencia. En otras palabras, de toda la energía disponible para sostener a todas las especies de la Tierra, el *Homo sapiens* se queda con casi la mitad. Las consecuencias, según los biólogos Paul y Anne Ehrlich, de Stanford, son fatales. «Salta a la vista que un aumento sustancial de la población humana y de su movilización de recursos repercute en la reorientación y consumo creciente de la PPN», dicen los Ehrlich. «La humanidad querrá apoderarse de todo y perderá más en el proceso».[143] Por cada uno por ciento del PPN global que nuestra especie confisque de más en las décadas venideras, habrá un uno por ciento de menos disponible para el resto de la naturaleza. Al final, conforme se elimine el espacio de los productores, la productividad primaria se reducirá y caerá en picado. La diversidad biológica del mundo se vendrá abajo, y con ella la productividad de la que depende la supervivencia humana. El futuro de la civilización humana está, por tanto, en peligro.

No todos aceptan este enfoque apocalíptico, como es lógico, en particular Julián Simón. Simón, en una serie de predicciones que hay que situar entre las más atrevidas y optimistas de la historia, dijo lo siguiente en su polémica con Myers: «Tenemos en nuestras manos… tecnología para alimentar, vestir y suministrar energía a la creciente población humana durante los próximos siete mil millones de años».[144]

Uno de estos dos guiones (la inminencia del Día del Juicio, la expansión básicamente infinita de la humanidad) se equivoca.

El método por el que los expertos en ecología calculan el porvenir de las especies de los hábitats que se reducen de tamaño se basa en la teoría de la biogeografía isleña, ideada en 1963 por los biólogos Robert MacArthur y Edward Wilson, de la Universidad de Harvard. En parte resultado de observaciones empíricas, en parte modelo matemático, la teoría está en la base de buena parte del actual pensamiento ecológico. «Ya habíamos advertido que la fauna y la flora de las islas de todo el mundo expresan una relación coherente entre la superficie de las islas y la cantidad de especies que viven en ella».[145] MacArthur y Wilson veían esta relación dondequiera que miraban, desde las Islas Británicas hasta el archipiélago de Indonesia, pasando por las Galápagos. De estas observaciones dedujeron una sencilla ley aritmética: la cantidad de especies se multiplica aproximadamente por dos cada

vez que se decuplica la superficie. La relación cualitativa entre superficie y cantidad de especies (a más superficie, más especies) parece evidente y de sentido común; y la relación cuantitativa procede de la observación empírica.

Aunque sencilla y casi simplista, la teoría parece sólida. No obstante, una comprobación más rigurosa le añadiría mucho valor, y esto es precisamente lo que Lovejoy se propuso con el experimento de la pluvisilva brasileña. Condenado a proseguir durante varias décadas, el experimento, sin embargo, ya ha producido información suficiente para desechar cualquier duda sería que se tenga sobre la premisa central de la teoría.

Hay muchas maneras, como es lógico, de influir al alza o a la baja en la cantidad real de especies de un hábitat de determinado tamaño. Quinientas hectáreas de terreno llano sin duda sustentarán menos especies que, por ejemplo, quinientas hectáreas de topografía variadísima. El motivo radica en que en el segundo terreno hay muchos más micro-hábitats que en el primero. Y quinientas hectáreas de terreno tropical sustentarán más especies que un terreno de igual tamaño, pero en latitudes superiores, por motivos que ya vimos en el capítulo 7. Si las comparaciones se hacen bien (latitudes parecidas, terreno parecido), la teoría de la biogeografía isleña será una herramienta poderosa para hacer previsiones. Es, además, la única herramienta disponible, aparte de la consistente en contar las especies una por una, que no suele ser viable. Cuando Julian Simon dice que el modelo matemático de Wilson «sólo está basado en especulaciones»[146] y desestima las predicciones por ser «el cuento estadístico de la pérdida de especies»,[147] está cerrando los ojos a conciencia ante las realidades que cimentan la teoría.

¿Qué podemos decir, pertrechados con esta herramienta, sobre los efectos de la reducción de los bosques tropicales al diez por ciento de su tamaño original? La relación aritmética basada en la teoría predice que se extinguirá el 50 por ciento de las especies, unas inmediatamente, otras en el curso de varias décadas, incluso de varios siglos. Si los ecólogos aceptan mayoritariamente esta relación empírica como orientación lógica, ¿por qué varían tanto entre sí las estimaciones sobre las especies que se extinguirán durante el próximo siglo? ¿Por qué una autoridad afirma que todos los años se perderán 17.000 especies, mientras que otra dice que serán 100.000?

Los motivos son varios, y el menos importante no es la tremenda incertidumbre que hay sobre cuántas especies existen en el mundo. Como ya dije en el capítulo 7, las estimaciones oscilan entre diez y cien millones. Aplicando a la pérdida de especies la misma proporción del 50 por ciento, quien recurra a la estimación más alta obtendrá, en consecuencia, una cantidad absoluta que será superior en un orden de magnitud a la que obtenga quien recurra a la estimación más baja. Hay más factores que siembran la confusión, por ejemplo las grandes (y desconocidas) diferencias de tamaño de los fragmentos de hábitat que escapan a la destrucción y las

dudas sobre la extensión geográfica de muchísimas especies. Si, por ejemplo, hay una significativa proporción de especies enclaustradas en espacios pequeños, la pérdida de especies será superior al 50 por ciento y podría acercarse al porcentaje de hábitat perdido. «En realidad no es sorprendente que haya mucha disparidad en las estimaciones, habida cuenta de las dificultades para obtener información exacta», comenta Lovejoy. A continuación formula la clave de su argumentación: «Lo importante es que todos los esfuerzos por calcular los índices han obtenido un número elevado».[148] Pocos discuten la proporción de especies condenadas a desaparecer si continúan las tendencias actuales: más o menos la mitad. El cincuenta por ciento de todas las especies que hay en el mundo son muchas especies.

Aunque nos quedemos con una cantidad de la franja baja de las estimaciones, por ejemplo treinta mil especies al año, las consecuencias siguen siendo aterradoras. David Raup ha calculado, a partir del registro fósil, que durante los periodos de extinción normal o de fondo, la pérdida de especies se mueve a una velocidad media de una especie cada cuatro años. A razón de treinta mil especies al año, esta extinción viene a ser como la de fondo, pero multiplicada por 120.000. Podría compararse con cualquiera de las Cinco Grandes crisis biológicas de la historia del planeta, aunque ésta no la causa el cambio climático global, ni el retroceso del nivel del mar, ni la caída de un asteroide. La causa uno de los pobladores de la Tierra. El *Homo sapiens* está maduro para ser el destructor más colosal de la historia, sólo superado por el asteroide gigante que chocó con la Tierra hace sesenta y cinco millones de años, barriendo en un instante geológico la mitad de las especies de entonces.

Las cantidades mencionadas son las previstas para los índices de extinción de comienzos del próximo siglo si continúan las actuales tendencias de destrucción de hábitats. Los detractores no sólo dudan de la validez de estas predicciones, sino que además desafían a los ecólogos a que aporten pruebas contundentes de ese alarmante nivel de extinciones que el hombre causa actualmente. Es verdad que, a falta de reconocimientos exhaustivos y generales, los ecólogos no pueden aportar tales pruebas presentando una lista completa de extinciones. Pero lo que los detractores dan a entender es que las pruebas en cuestión no existen porque ninguna o muy pocas especies están desapareciendo por culpa de la actividad humana. A pesar de no contar con reconocimientos globales, hay una respetable cantidad de estudios aislados de muchos hábitats de todo el mundo. Despreciados por los detractores por «anecdóticos», estos estudios, en conjunto, justifican con creces la preocupación.

Pondré unos ejemplos. Ya he mencionado la masiva pérdida de especies del lago Victoria. Por sí sola, la desaparición de doscientas especies en veinte años se aleja del índice de extinción de fondo, que es de una especie cada cuatro años. Si se aplica la

extinción de fondo a las aves, por ejemplo, lo normal es que desaparezca una especie por siglo. Sin embargo, como informa Stuart Pimm, «en el Pacífico por lo menos hay alrededor de una extinción al año».[149] Pimm desarrolla su trabajo de campo en las Hawai y las aves son su especialidad. Es posible que las Hawai parezcan un paraíso para los turistas, pero los ecólogos conocen las cicatrices de las recientes y catastróficas extinciones que ha padecido el archipiélago. Desde que el primer humano puso allí el pie se ha extinguido por lo menos la mitad de las especies de aves del archipiélago, y la racha continúa. Hay 135 especies y sólo 11 medran lo suficiente para tener asegurada la supervivencia durante el siglo que viene. «Hay alrededor de una docena… tan raras que tienen pocas esperanzas de salvación», dice Pimm. «Otras doce están oficialmente catalogadas como *en peligro*; lo que quiere decir que su futuro es dudoso».[150]

Hace poco más de una década se extinguieron noventa especies vegetales en un abrir y cerrar de ojos cuando la sierra en que vivían se desforestó para cultivar la tierra. La sierra, situada en las estribaciones occidentales de los Andes ecuatorianos, se llama del Centinela y entre los ecólogos el nombre es ya sinónimo de extinción catastrófica por causa humana. Por casualidad, dos ecólogos, Alwyn Gentry y Calaway Dodson, estuvieron en la sierra en 1978 y llevaron a cabo el primer estudio botánico de su poblado bosque. Entre la bullente biodiversidad alimentada por este hábitat y puesta al descubierto por Gentry y Dodson había noventa especies, en concreto hierbas, orquidáceas y epífitos, de cuya existencia no se sabía hasta entonces en ningún otro lugar. Centinela era una isla ecológica que, por estar aislada, había desarrollado una flora exclusiva. Menos de ocho años después, la sierra se transformaba en tierra de laboreo y sus especies endémicas dejaban de existir.

Centinela tenía una flora exclusiva, pero no tenía en exclusiva la cualidad de isla ecológica. En toda la longitud de los Andes abundan estas sierras, y es seguro que la mayoría ha desarrollado especies exclusivas. Lo notable del hábitat de Centinela era que antes de su destrucción se había efectuado un estudio botánico. Cada vez que se barre una isla ecológica, las especies desaparecen sin que nos demos cuenta; este acontecimiento se denomina ya «extinción centinela». Hay aquí dos puntos que conviene subrayar. El primero es que cada vez que los ecólogos pueden reconocer un hábitat antes y después de una perturbación, casi siempre se aprecia alguna pérdida de especies, a menudo catastrófica. Sin embargo, en la inmensa mayoría de los casos, la destrucción de hábitats se produce en zonas con la fauna y la flora sin catalogar, de modo que es más que probable que se hayan extinguido incontables especies sin que los ecólogos se hayan enterado de su existencia. ¿Cómo puede documentarse un fenómeno así, si no es por extrapolación? El segundo punto es que, al igual que las plantas de Centinela, muchas especies tienen una distribución geográfica muy reducida, sobre todo en los trópicos, de manera que la destrucción de hábitats

equivale a menudo a la destrucción instantánea de especies. Como ya señalé, esto supone que la previsión de que al final se perderá el 50 por ciento de las especies no es una exageración, sino una subestimación de la realidad.

La lista de pruebas «anecdóticas» es larga: la mitad de los peces de agua dulce de la Malasia peninsular, diez especies de aves de la isla filipina de Cebú, la mitad de los cuarenta y un caracoles arborícolas de Oahu, cuarenta y cuatro de las sesenta y ocho especies de mejillones de río de los bajos del Tennessee, etcétera. Las pruebas podrían ser anecdóticas en el sentido de que no son fruto de un reconocimiento sistemático del terreno, pero pese a todo resultan convincentes. Con objeto de cuantificar los datos conocidos sobre extinciones, y de llegar en consecuencia a una conclusión sobre si estamos o no ante una crisis biológica producida por nosotros, Stuart Pimm y dos colegas analizaron algunos casos muy bien conocidos y documentados. Se trataba de mejillones de río y peces de agua dulce de América del Norte, mamíferos de Australia, plantas del sur de África y anfibios de todo el mundo. «¿Qué causa la extinción?», preguntan Pimm y los suyos retóricamente. «Nuestra interpretación de los cinco casos es que la introducción de especies y la alteración física del hábitat son los factores más importantes».[151] No entraré en los detalles de las extinciones registradas porque pueden consultarse en el escrito de Pimm; me concentraré en las conclusiones que se derivan de sus análisis.

Si los niveles observados de la extinción conocida en estos casos son típicos y pueden aplicarse a especies parecidas de todo el mundo, la extinción actual discurre a una velocidad entre mil y diez mil veces mayor que la extinción de fondo. Los escépticos podrían replicar que estos ejemplos representan niveles de extinción singularmente elevados y que en consecuencia no son representativos. Aunque sea así, dicen Pimm y sus colegas, y estas extinciones conocidas sean las únicas que se producen en estos grupos de especies de todo el mundo, lo cual es muy improbable, su velocidad seguiría siendo entre doscientas y mil veces mayor que la de la extinción de fondo. Esto equivale a una extinción en masa. Los autores subrayan que ningún caso se refiere a zonas con densidad humana particularmente elevada, lo cual es un ejemplo de que la garra de la muerte es eficaz a distancia. ¿Qué eficacia no tendrá entonces en medio de elevadas concentraciones humanas? Pimm se pregunta por la conclusiones que debemos sacar de éste y otros estudios: «Quienes sugieren que los altos índices de extinción son un invento parecen sufrir una extraña ceguera ante los hechos».[152] O una ceguera voluntaria.

Se diría que la documentación de las extinciones conocidas es el único medio de demostrar que estamos en plena crisis biótica y eso es lo que los escépticos exigen. A fin de cuentas, sin cadáver no hay caso de asesinato. Del mismo modo, si una población de una especie existe en algún lugar, entonces no está extinguida, aunque la destrucción de hábitats reduzca todo su ámbito geográfico. Pero este punto de vista

subestima la magnitud de la crisis actual y su complejidad. «Hay que admitir que, salvo cuando todos los individuos de una especie mueren a la vez, por culpa de un meteoro o de un huracán, la extinción es un proceso de múltiples etapas»,[153] observa Daniel Simberloff. Por poner un ejemplo, Simberloff cuenta el caso del gallo de las praderas, del que ya hablé en el capítulo 5. Su extinción suele atribuirse a la caza y a la destrucción de hábitats por los humanos. El territorio de esta ave, recordémoslo, era muy grande, pues abarcaba buena parte del litoral oriental de Estados Unidos. La caza y la destrucción de hábitats redujeron la especie a cincuenta individuos en 1908, año en que se fundó una reserva para salvarla de la extinción. Dos décadas más tarde la población comenzó a crecer con fuerza, aunque al final la especie sucumbió por culpa de una combinación de tragedias bíblicas, sobre todo incendios y epidemias.

El meollo de la historia es que, una vez que la población de gallos quedó reducida a un número pequeño, la extinción final estaba prácticamente garantizada. Como he dicho ya varias veces, una población pequeña es vulnerable a las fluctuaciones cuantitativas normales que acarrean las enfermedades y otras catástrofes. Una población de mil individuos puede soportar la desaparición de cien; pero una fluctuación así significa el fin de una población que empieza sólo con cien individuos. En el caso del gallo de las praderas, su supervivencia era precaria en última instancia incluso deteniendo la caza y la alteración de hábitats. La valoración del impacto de la actividad humana en la biodiversidad actual debe tener en cuenta, pues, las poblaciones que se han reducido hasta el extremo de ser víctimas probables de fluctuaciones estocásticas o estar en camino de serlo. Es precisamente lo que hizo Stuart Pimm al describir las expectativas de las aves de Hawai. Sólo once tienen asegurada la supervivencia en el siglo que viene. Las restantes 124 especies tienen ya una población muy reducida, algunas hasta extremos alarmantes. Y sin embargo, un simple recuento de especies dice que hay 135: ninguna extinción sobre la que informar. Simberloff describe gráficamente esta situación: «Muchas poblaciones, entre ellas las últimas de algunas especies, podrían tener un aspecto saludable, pero estar ya entre los muertos en vida».[154]

Creo que las «anécdotas» sobre extinciones que los ecólogos nos vienen contando últimamente no son sino la punta de alfiler de una realidad catastrófica que se viene produciendo en silencio y, en su mayor parte, lejos de nuestra vista. Dada la imposibilidad absoluta de documentar la desaparición de todas las especies condenadas por la actividad humana, es necesario sensibilizarse ante estos débiles murmullos que trae el viento, ya que encierran un mensaje importante. Dominante como ninguna otra especie en la historia de la vida en la Tierra, el *Homo sapiens* está a punto de causar una gran crisis biológica, una extinción en masa, el sexto acontecimiento de estas características que habrá ocurrido en los últimos quinientos

millones de años. Y nosotros, el *Homo sapiens*, podríamos estar también entre los muertos en vida.

14
¿Nos afecta?

Paul Ehrlich ha aplicado un símil a quienes arguyen que, como los ecólogos no saben decir con exactitud cuántas especies están en peligro, es prematuro alarmarse por el presunto colapso inminente de la biodiversidad. «(Es como) decir que no habría que preocuparse por el incendio de la única genoteca del mundo porque no se conocen los genomas individuales existentes ni siquiera en un orden de magnitud y porque los expertos en incendios no se ponen de acuerdo sobre si quedará medio calcinada en veinte años o en cincuenta», dijo hace poco en una carta a la revista *Science*. «Por lo visto, a ciertos científicos no se les permite avisar a los bomberos mientras no den información exacta sobre la temperatura de las llamas en cada punto de la conflagración».[155]

Yo tengo mi propio símil. Supongamos que se localiza en el espacio un asteroide gigante que va a chocar con la Tierra. Mucha gente, como es lógico, se preocupará, dado que se piensa que estos impactos produjeron extinciones en masa en el pasado. Mi interpretación de la lógica de Julián Simón y los suyos dice que no hay motivo de alarma, porque las teorías de las extinciones en masa a consecuencia de impactos de asteroide son pura especulación y conjetura; nadie ha visto jamás una extinción de estas características; y, de todos modos, el asteroide puede pasar de largo. Si hubiera algún medio de desviar la trayectoria del asteroide, el precio de no hacerlo, en el caso de que Simón estuviera equivocado, sería catastrófico. ¿Cuál es el precio de equivocarse en el caso de la sexta extinción? ¿Hasta qué punto nos afecta, a nosotros y al resto de la biota del mundo, que la mitad de las especies desaparezca en el curso del siglo que viene?

Estas preguntas tienen varias respuestas, pero dependen del marco temporal en que se formulen. Una respuesta dice que, a largo plazo, no nos afecta en absoluto. Aunque es verdad en cierto modo, y muchos antialarmistas la invocan, aduciré que refleja el desconocimiento de las pautas de la historia de la vida y de nuestro lugar en ellas.

En el capítulo 8 hablé del valor de la biodiversidad y señalé tres áreas de interés: la economía, los servicios ecosistémicos y la estética. No repetiré lo que ya expuse allí salvo para decir que, si se identifica un valor, la pérdida de la diversidad representa la pérdida de ese valor. Si los animales y las plantas son fuente potencial de nuevas materias primas, nuevos alimentos y nuevos fármacos, la pérdida de especies reduce dicho potencial. Si una red interactiva de plantas y animales es importante en el mantenimiento de la química de la atmósfera y el suelo, la pérdida de especies reduce la eficacia de estos servicios. Y si una diversidad abundante en

especies influye en la psique humana, la pérdida de especies reduce nuestra humanidad de un modo imposible de calcular. Sin embargo, es lícito formular una pregunta en cada una de estas tres áreas: ¿son necesarias todas las especies existentes para producir valor económico, servicios ecosistémicos y placer estético? ¿Podemos prescindir de algunas sin perjuicio?

La respuesta, para Julián Simón, es evidente, y la expuso ya en relación con la pérdida de especies que se produjo cuando los colonos limpiaron el Oeste Medio de Estados Unidos. «Cuesta incluso imaginar que estaríamos infinitamente mejor en compañía de estas especies hipotéticas», adujo en su polémica con Norman Myers. «Lo cual plantea ciertas dudas sobre el valor económico de especies que podrían haberse perdido en otros lugares».[156] Los principales parámetros que utiliza Simón para medir el valor son la economía y la utilidad inmediata, como dejó claro en una observación que hizo en el curso del mismo debate. «Los últimos avances científicos y técnicos, en concreto los bancos de semillas y la ingeniería genética, han reducido la importancia de mantener especies en su hábitat natural.»[157] Cotejaré estas palabras con una forma muy distinta de valorar las especies en su hábitat natural, la que expone Les Kaufman en un capítulo de su libro *The Last Extintion*: «Una parte del alma americana murió con la paloma migratoria, el bisonte de las llanuras y el castaño americano».[158] Aunque no voy a decir que hay que salvar a todas y cada una de las especies del mundo, y menos al precio de reducir el bienestar humano, mis opiniones están más cerca de las de Kaufman que de las de Simón. Los humanos hemos evolucionado en un mundo natural, y apreciar la naturaleza y sentir su necesidad son componentes reales e inextirpables del psiquismo humano. Nos arriesgamos a erosionar el alma humana si permitimos la erosión de la riqueza del mundo natural que nos rodea.

Pero supongamos que la psique humana sobrevive al trauma de estar en un mundo ecológicamente empobrecido. Supongamos además que la tecnología presente y futura nos proporciona todos los recursos materiales que extraeríamos del mundo natural. ¿Podríamos «alimentar, vestir y suministrar energía a la creciente población humana durante los próximos siete mil millones de años», como quiere Julián Simón? Es cierto que durante toda la historia humana la calidad material de vida ha aumentado de manera uniforme, incluso mientras aumentaba la población. Guiado por esta misma historia, Simón supone que se puede proyectar hacia el futuro la misma pauta de un modo básicamente infinito y que no hay límites para lo que los humanos pueden sacar del mundo natural sin perjudicarnos ni perjudicar a la naturaleza. En otras palabras, cree que nuestra incesante apropiación de la naturaleza es compatible con el mantenimiento de un mundo natural estable. La historia, como se sabe, nos orienta de cara al futuro, pero también puede volvernos ciegos ante las realidades en curso. La ciencia y la tecnología han aumentado nuestro bienestar, de

eso no hay la menor duda, pero este bienestar puede impedir que veamos la realidad del entorno global. Como nos hemos criado en entornos urbanos artificiales, no vemos la relación entre el debe y el haber de la economía natural de la Tierra.

El debe y el haber son las interacciones entre especies a todas las escalas de la vida, desde los filamentos de hongos que contribuyen a la buena salud de las radículas de las plantas hasta los ciclos químicos globales del agua, el oxígeno y el anhídrido carbónico. Éstos son los servicios ecosistémicos a los que aludí más arriba, y representan los elementos tangibles de la estabilidad y la buena salud que vienen de toda la biota de la Tierra en tanto que sistema dinámico complejo. ¿Cómo aparecen exactamente la buena salud y la estabilidad? No lo sabemos. ¿Puede reducirse el tamaño del sistema, eliminando cierta proporción de especies en todos los reinos ecológicos, sin que pierda efectividad? No lo sabemos. ¿Cuáles son sus componentes más importantes? Esto lo sabemos, pero de manera incompleta. ¿Qué especies o grupos de especies pueden eliminarse sin perjuicio del sistema que nos sostiene a nosotros y a todos los organismos vivos? Tampoco esto lo sabemos de f manera completa. Nuestro desconocimiento del mundo natural del que dependemos es grande, pero no total, como ya expuse en el capítulo 8. Sabemos que el *Homo sapiens* no está al margen de las leyes que rigen la vida de todos los demás organismos.

Dado que no sabemos cuánta biodiversidad actual necesitamos para mantener la biota de la Tierra en estado de buena salud, ¿qué es más responsable, decir que «como ignoramos si la necesitamos toda, podemos suponer sin miedo que no» o decir que «admitimos las complejidades del sistema y suponemos que sí»? La respuesta se ve por sí sola, dado que el precio por equivocarse con la primera postura es enorme. En cualquier caso, muchos ecólogos, extrapolando el incompleto conocimiento que tienen de la estructura y dinámica de los servicios ecosistémicos, creen que necesitamos toda o por lo menos casi toda la que tenemos actualmente. Con la incesante destrucción de biodiversidad que deja a su paso el desarrollo económico, podríamos arrastrar al mundo natural hasta un umbral más allá del cual podría ser incapaz de sostenerse primero a sí mismo y en última instancia a nosotros. Sin nada que lo detenga, el *Homo sapiens* podría ser no sólo el responsable de la sexta extinción, sino también una de sus víctimas.

Los humanos vivimos en el presente. Miramos a nuestro alrededor y nos cuesta imaginar los cambios que necesitan muchísimo tiempo. Pero la perspectiva del tiempo es esencial si queremos comprender a fondo los procesos biológicos que activamos con nuestros actos y, desde luego, ver dónde está nuestro futuro como especie. En consecuencia, tenemos que dirigirnos al registro fósil de la vida, pues sólo él nos puede informar de la dinámica de los sistemas vivos a escalas temporales que sobrepasan nuestra experiencia cotidiana y nuestra imaginación.

El mensaje más inmediato del registro en relación con la historia de la vida es que las grandes catástrofes que destruyen la diversidad biológica pueden ocurrir y ocurren. Además, estas crisis del flujo de la vida pueden ser rápidas, irreversibles e imprevisibles. Por este camino deberíamos aprender una importante lección sobre el mundo natural del que formamos parte: que las especies y las comunidades de especies no son infinitamente inmunes a la agresión exterior; son vulnerables y pueden desaparecer, perderse para siempre. Sabemos que las extinciones en masa pueden producirse por el choque de objetos extraterrestres con nuestro planeta y por varias modalidades de cambio global, pero no nos vemos a nosotros mismos como agentes potenciales de tales crisis biológicas. La tala diaria de bosques tropicales y la estrangulación de hábitats silvestres es un proceso menos espectacular que el impacto de un asteroide, pero el efecto final es el mismo. Sin que nos demos cuenta hay ya en curso una extinción en masa. Al ir tras nuestros objetivos, tratamos al mundo natural como si pudiera soportar nuestras agresiones sin menoscabo, cuando la verdad es que lo hacemos a nuestras expensas.

El registro fósil nos dice que la vida no ha sido un fenómeno estático en la historia de la Tierra, sino más bien un proceso dinámico. Tampoco ha sido la suya una progresión uniforme, sino que ha estado jalonada de grandes mortandades, cuyas víctimas (sean las especies individuales, los grupos de especies o los ecosistemas) han desaparecido para siempre. La muerte de una especie es el punto final de una cadena continua de eslabones genéticos que tienen miles de millones de años de antigüedad; un paquete genético único que desaparece de la variedad planetaria para siempre. Cada vez que la actividad humana redunda en la extinción de una especie, todos tenemos una parte de responsabilidad en la destrucción irrevocable de una parte única de la vida. Yo me tomo esta responsabilidad muy en serio.

Pero, replican los antialarmistas, echemos otro vistazo al registro fósil y veremos que, de todos modos, la vida de las especies tiene un límite, una duración media que oscila entre uno y diez millones de años. (Las especies más longevas están entre las menos visibles de nuestro mundo, las más efímeras son las más grandes, por ejemplo los vertebrados terrestres.) Unas especies dan por finalizada su misión en el oleaje uniforme de la extinción de fondo, otras en las mortandades catastróficas. Con esta perspectiva, dicen los antialarmistas, querer salvar especies «podría ser perder tiempo, energías y dinero (ya que), por mucho que hagamos, perecerán antes o después».[159] Como replicó a su vez Stephen Jay Gould, este punto de vista «tiene tanto sentido como argüir que no deberíamos tratar una infección infantil de fácil curación porque todos los humanos, en última instancia, somos mortales».[160] Volveré sobre esto inmediatamente, ya que contiene el elemento vital de un argumento ético que abarca el tiempo geológico y nuestro lugar en él.

El segundo gran mensaje del registro fósil es que la evolución es un proceso

sobrecogedora y poderosamente creativo que llena rápidamente los vacíos que quedan tras cada extinción en masa. Al fin y al cabo, la diversidad de la vida, en los tiempos modernos, está en el punto más alto de la historia, a consecuencia de las reacciones experimentadas tras cinco crisis biológicas de primer orden y más de una docena de convulsiones menores. La aparición de nuevas especies tras una extinción supone a menudo la transformación de la forma de vida dominante. Estamos en la edad de los mamíferos, que advino a raíz de la desaparición de los dinosaurios, hace sesenta y cinco millones de años. En esta nueva edad, los primates han acabado por ser los más dotados mentalmente, con el *Homo sapiens* en el peldaño más alto. Tras la sexta extinción, la diversidad volverá a ser la de siempre, en el caso, como es lógico, de que el responsable de la destrucción (el comportamiento actual del *Homo sapiens*) pase la prueba. Y si se puede juzgar por lo acontecido en el pasado, la diversidad de la vida será incluso mayor que hoy. ¿Quién sabe qué novedades evolutivas aparecerán? Si la naturaleza se recupera tan alegremente tras una extinción en masa, puede que no debiera preocuparnos tanto la posibilidad de desencadenar otra. La respuesta es que todo depende de la escala temporal en que pensemos.

Las extinciones en masa son prácticamente instantáneas, se producen en cuestión de años o de siglos, en el caso de un impacto de asteroide, a milenios o millones de años de distancia de las causas materiales. La recuperación, en cambio, es lenta, ya que tarda entre cinco y veinticinco millones de años. Quiero decir lenta a escala humana. Lenta no sólo en lo que se refiere al tiempo que podemos abarcar como individuos, sino también en lo que se refiere a nuestra duración como especie.

No hay motivos para pensar que la duración media, de uno a diez millones de años, que se aplica a otras especies no deba aplicarse a la nuestra. El *Homo sapiens* lleva rondando unos 150.000 años, así que es lícito esperar que duremos aproximadamente un millón de años más (ya que somos vertebrados terrestres grandes), a menos, claro está, que nuestra capacidad de destrucción acelere nuestro fin. Además, en algún momento del futuro un asteroide gigante o un cometa chocará de frente con la Tierra y acabará al instante con la mayoría de las especies, tal vez también con la nuestra. En los últimos años varios asteroides pequeños han pasado inquietantemente cerca de nosotros. Son presagios de lo inevitable que, según ciertos cálculos, nos alcanzará dentro de unos trece millones de años. Si por una casualidad insospechada los descendientes del *Homo sapiens* siguen medrando en la Tierra por entonces, los efectos del impacto seguramente destruirían, si no todas, casi todas sus poblaciones; e incluso si alguna sobreviviera tras el primer impacto, la civilización se desmoronaría, tal vez para no recuperarse nunca. Si alguna certeza podemos inferir del conocimiento del flujo de la vida y de las fuerzas que lo forman es que llegará el día en que pereceremos todos, nosotros y nuestros descendientes, y la Tierra y sus pobladores seguirán andando sin nosotros.

Muchas personas son incapaces de pensar en una época en que ya no exista el *Homo sapiens*, por eso prefieren suponer que seremos una excepción en la historia de la biología y que viviremos eternamente, por lo menos hasta que la Tierra deje de existir, dentro de miles de millones de años, cuando nuestra atmósfera se queme a causa de la dilatación solar. Es evidente que Julián Simón cree en esta posibilidad cuando habla de nuestra capacidad para florecer durante los próximos siete mil millones de años. Este hombre no ve la realidad. También están los que se aferran a la idea de que podemos eludir nuestro destino viajando por el espacio y colonizando otros planetas, en cuyo caso importa poco el daño que podamos infligir en el planeta que sepamos que puede sostenernos. Las dos posturas son pura fantasía, fruto de la arrogante convicción de que el *Homo sapiens* está aparte y por encima del resto del mundo natural, y de la creencia en nuestra invencibilidad. Si algo hemos aprendido estudiando la historia de la vida y la dinámica por la que las especies medran colectivamente es que ninguna de las dos son verdaderas.

Podría decir, como han hecho otros, que nuestro deber con nosotros mismos, con nuestros hijos y los hijos de nuestros hijos es no tirar piedras a nuestro propio tejado, no degradar la asombrosa diversidad de la vida de la que depende nuestra supervivencia y nuestra alma. Podría decir, como han hecho otros, que, ya que somos las únicas criaturas sensibles de la Tierra, tenemos la obligación de proteger la vida de todas las especies. Podría decir, como han hecho otros, que todas las especies con que compartimos el mundo actualmente tienen absoluto derecho a nuestra protección por el simple hecho de existir. Cada una de estas peticiones es lícita y juntas o por separado expresan el imperativo de reconocer nuestro papel en la sexta extinción y de poner freno a la insidiosa destrucción en masa que no tardará en enviar a cien especies por día, cuatro especies por hora, al limbo de la evolución. Pero quisiera añadir otro imperativo, éste derivado de la perspectiva de la historia de la vida en la Tierra, no desde una concepción antropocéntrica, como el anterior, sino desde el punto de vista del resto de las especies de la naturaleza.

La sexta extinción es, en muchos aspectos, parecida a las catástrofes biológicas anteriores. Por ejemplo, las especies más vulnerables son las de distribución geográfica reducida, las de los trópicos y aledaños, y también las de tamaño corporal grande. También es insólita por varios conceptos, sobre todo porque están desapareciendo cantidades elevadas de especies vegetales, un hecho sin precedentes en comparación con crisis anteriores. Pero al final, cuando pasen cinco, diez o veinte millones de años, a pesar de esta y otras distorsiones de la biota que sobreviva, se producirá la reacción. «A escala geológica, el planeta se repondrá y dejará que el tiempo borre el impacto de todas las fechorías humanas», como ha dicho Gould.[161]

Entonces, si a largo plazo no importa en absoluto lo que hagamos mientras estemos aquí, ¿por qué deberíamos preocuparnos por la supervivencia de especies que, al igual que la nuestra, dejarán de existir algún día?

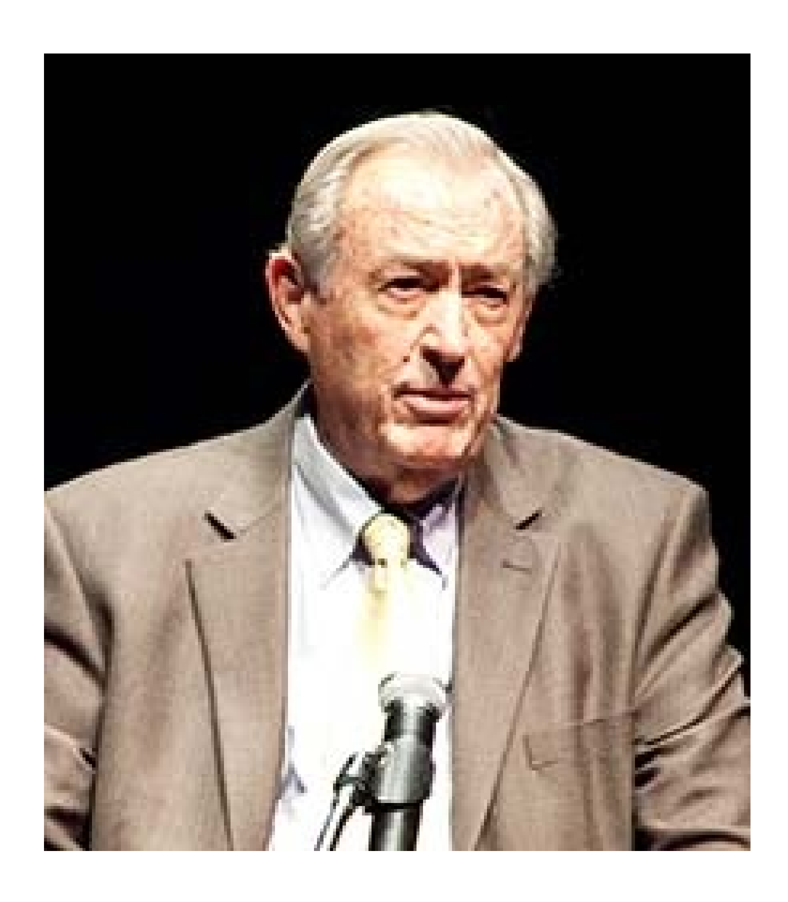
Deberíamos preocuparnos porque, por especiales que seamos en muchos aspectos, no somos más que una casualidad de la historia. No aparecimos en la Tierra como quien llega del espacio exterior ni nos pusieron en medio de una fabulosa diversidad biológica con el libre derecho de hacer lo que se nos antojara. Al igual que todas las especies con que compartimos el mundo, somos el resultado de multitud de sucesos casuales que se remontan hasta la pasmosa explosión de formas de vida que se produjo hace quinientos millones de años, y antes de la explosión, hasta el origen mismo de la vida. Cuando comprendemos, pensando en nuestros orígenes, esta conexión íntima con el resto de la naturaleza, se desprende un imperativo ético: nuestra obligación es protegerla, no causarle perjuicios. Y es nuestra obligación, no porque seamos la única criatura sensible de la Tierra y esta superioridad nos permita ser generosos, sino porque en un sentido básico el *Homo sapiens* está a la misma altura que todas y cada una de las demás especies. Y cuando entendemos la biota de la Tierra en términos holísticos, es decir, viéndola funcionar como un todo interactivo que produce un mundo vivo, estable y con buena salud, acabamos por vernos a nosotros mismos como parte de ese todo, no como especie privilegiada que puede explotarla impunemente. El reconocimiento de que estamos arraigados en la vida y su bienestar exige que respetemos a las demás especies, no que las arrollemos en la ciega satisfacción de nuestros intereses. Y en virtud de este mismo principio ético, que el *Homo sapiens* haya de desaparecer algún día de la faz de la Tierra no nos autoriza a hacer lo que queramos mientras estemos aquí.

Si lo que vengo diciendo parece idealista, tendré que admitir que lo es. Mi doble vocación de paleontólogo y conservacionista me ha permitido tener una concepción singular del valor de la diversidad de la vida y de sus cambios en el tiempo. Pero también tengo una concepción práctica de las cosas, derivada de ver a personas que luchan por sobrevivir explotando los únicos recursos que tienen, a saber, el mundo natural que les rodea. Ayudarles en esta lucha al mismo tiempo que se pone fin a la destrucción de esos recursos es el reto más grande que tiene la humanidad en el siglo que viene. Puede hacerse, pero sólo si se admiten las diferentes necesidades de los países ricos y pobres. Se fracasará si las naciones ricas imponen soluciones que eternicen la pobreza de los ciudadanos de los países menos desarrollados.

Las extinciones en masa fueron durante mucho tiempo un tema de estudio olvidado porque eran misteriosas en muchos aspectos y porque, de todos modos, pensábamos que eran simples interrupciones del flujo de la vida. Hoy se admite que son una fuerza creativa de primer orden en la perfilación de dicho flujo y que

seguramente seguirán siéndolo durante miles de millones de años, mucho después de que el *Homo sapiens y* sus descendientes hayan desaparecido. Pero buena parte del misterio sigue sin solucionarse; en concreto, que las causas exactamente. Como dijo David Raup en *Extinction: Bad Genes or Bad Luck?*, «la inquietante realidad es que en el pasado geológico hubo millares de extinciones y no tenemos ninguna explicación sólida de por qué se produjeron».[162] Por lo que se refiere a las Cinco Grandes, hay teorías sobre las causas, algunas convincentes, pero ninguna demostrada.

De la sexta extinción, en cambio, conocemos al culpable. Somos nosotros.



RICHARD LEAKEY. Es el paleontólogo más reconocido y célebre del mundo, además de arqueólogo, ecologista y político. Vive en Kenia, donde dirigió durante cinco años el Kenya Wildlife Service y donde logró frenar, tras una lucha casi a muerte, la caza furtiva de elefantes. En colaboración con Roger Lewin ha escrito varias obras, entre las que destacan *Nuestros orígenes*, *En busca de lo que nos hace humanos* e *Interpretación de los fósiles*.



ROGER LEWIN. Antropólogo británico y bioquímico, trabajó nueve años para la revista londinense *New Scientist* y otros diez para la revista norteamericana *Science*. En 1989, su obra *Bones of Contention* ganó el Royal Society Prize for Science Books. Es miembro del Complexity Research Group en la London School of Economics. En esta misma colección (Metatemas 041) se ha publicado su obra *Complejidad, el caos como generador del orden*.

Notas

[1] Charles Darwin, *Origin of Species*, Penguin, Londres, 1985, pág. 312. Existe traducción española: *El origen de las especies*, Espasa Calpe, Madrid, 1987. <<



[2] Andrew H. Knoll, «End of the Proterozoic Eon», *Scientific American*, octubre de 1991, pág. 64. <<

[3] Darwin, *op. cit*. <<

[4] Adolf Seilacher, «Precambrian evolutionary experiments: Vendozoa and Psammocorallia», en Pere Alberch y Gabriel A. Dover (eds.), *The Reference Points in Evolution*, Fundación Juan March, Nº 255, Madrid, 1990, pág. 480. <<

[5] *Ibid*., pág. 49. <<



[6] Simon Conway Morris, «Burgess Shale faunas and the Cambrian explosion», *Science*, vol. 246 (1989), pág. 339. <<

[7] Jerr H. Lips y Philip W. Signor (eds.), *Origin and Evolution of Metazoa*, Plenum Press, Nueva York, 1992, pág. 17. <<

[8] David Jablonski y David J. Bottjer, «The ecology of evolutionary innovation: the fossil record», en M. H. Nittecki (ed.), *Evolutionary Innovations*, University of Chicago Press, Chicago, 1990, pág. 253. <<



[9] Citado por Carol Kaesuk Yoon, «Biologists' "Big Bang" took a mere blink of an eye», *New York Times*, sección científica, pág. 1, 7 de septiembre de 1993. <<

[10] Jablonski y Bottjer, *op. cit*. <<

[11] Jeffrey S. Levinton, «The Big Bang of animal evolution», *Scientific American*, noviembre de 1992, pág. 84. <<



[12] Stephen Jay Gould, «Treasures in a taxonomic wastebasket», *Natural History*, diciembre de 1985, pág. 32. <<



[13] Douglas Erwin y otros, «A comparative study of diversification events: the early Paleozoic versus the Mesozoic», *Evolution*, vol. 41 (1987), pág 1177. <<

[14] Edward O. Wilson, *The Diversity of Life*, W. W. Norton, Nueva York, 1992, pág. 192. Existe trad. esp.: *La diversidad de la vida*, Crítica, Barcelona, 1994. <<



[15] C. D. Walcott, citado en Simon Conway Morris y Harry B. Whittington, «The animals of the Burgess Shale», *Scientific American*, julio de 1979, pág. 22 <<



[16] Harry Whittington, citado en Roger Lewin, *Thread of Life*, Smithsonian Books, Washington D. C., 1982, pág. 107. <<

[17] Simon Conway Morris y Harry B. Whittington, *op. cit.*, pág. 131. <<

[18] Stephen Jay Gould, «Play it again, life», *Natural History*, febrero de 1986, pág. 20. <<



[19] Charles Darwin y Alfred Russel Wallace, «On the tendency of species to forma varieties», ponencia leída ante la Linnean Society, 1 de julio de 1858. <<

[20] Simon Conway Morris y Harry B. Whittington, *op. cit.*, pág. 132. <<

[21] Stephen Jay Gould, *Wonderful Life*, W. W. Norton, Nueva York, 1989, pág. 237. Existe trad. esp.: *La vida maravillosa*, Crítica, Barcelona, 1991. <<



[22] Stephen Jay Gould, «In touch with Walcott», *Natural History*, julio de 1990, pág. 12. <<



[23] Simon Conway Morris, «Burgess Shale faunas and the Cambrian explosion», cit., pág. 339. <<

[24] Stephen Jay Gould, «Play it again, life», cit., pág. 24. <<

[25] Simon Conway Morris, «Burgess Shale faunas…», cit., pág. 345. <<

[26] Jeffrey S. Levinton, *op. cit.*, pág. 91. <<

[27] Charles Darwin, *op. cit.*, pág. 322. <<

[28] *Ibid*., pág. 321. <<

[29] *Ibid*. <<

[30] *Ibid*., pág. 323. <<

[31] *Ibid*. <<

[32] David M. Raup, «Diversity crises in the geological past», en E. O. Wilson (ed.), *Biodiversity*, National Academy Press, Washington D. C., 1988, pág. 52. <<

[33] David M. Raup, *Extinction: Bad Games or Bad Luck?*, W. W. Norton, Nueva York, 1991, pp. 112-113. <<



[34] Paul Wignall, «The day the world nearly died», *New Scientist*, 25 de enero de 1992, pág. 55 <<

[35] Douglas H. Erwin, «The Permo-Triassic Extinction», *Nature*, vol. 367 (1994), pág. 231. <<

[36] Steven M. Stanley, *Extinction*, Scientific American Library Books, Nueva York, 1987, pág. 40. <<



[37] Stephen Jay Gould, «The Cosmic Dance of Siva», *Natural History*, agosto de 1984, pág. 16. <<



[38] David M. Raup, «Changing views of natural catastrophe», *The Great Ideas of Today*, Encyclopedia Britannica, Inc., 1988, pág. 55. <<

[39] William Clemens, citado en Richard A. Kerr, «Huge Impact Tied to Mass Extinction», *Science*, vol. 257 (1992), pág. 879. <<

[40] Anthony Hallam, citado en Richard A. Kerr, *op. cit.*, pág. 880. <<

[41] Charles Darwin, *op. cit.*, pág. 343. <<

[42] *Ibid*., pág. 119. <<

[43] Stephen Jay Gould, «The Cosmic Dance of Siva», cit., pág. 17. <<

[44] *Ibid*., pág. 18. <<



[45] David Jablonski, «Causes and consequences of mass extinctions», en D. K. Elliot (ed.) *Dynamics of Extinction*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1986, pág. 209. <<

[46] David M. Raup, «Extinction: bad genes or bad luck?», *New Scientist*, 14, septiembre de 1991, pág. 47. <<



[47] David M. Raup, «The role of extinction in evolution», ms. para los *Proceedings of the National Academy of Sciences*, en prensa, pág. 18. <<

[48] Stephen Jay Gould, «The Cosmic Dance of Siva», cit., pág. 18. <<



[49] David Jablonski, «Background and mass extinctions: the afirmation of macroevolutionary regimes», *Science*, vol. 231 (1986), pág. 131. <<

[50] J. John Sepkoski jr., «Phylogenetic and ecologic patterns in the Phanerozoic history of marine biodiversity», en Niles Eldredge (ed.), *Systematics, Ecology, and the Biodiversity Crisis*, Columbia University Press, Nueva York, 1992, pág. 84. <<

[51] Charles Darwin, *op. cit.*, pág. 459. <<



[52] Alfred Russel Wallace, «The Limits of Natural Selection», en *Essays on Natural Selection*, Macmillan, Londres, 1871, pág. 359. <<

[53] Robert Broom, *The Coming of Man; Was It Accident or Design?*, Witherby, Londres, 1933, pág. 220. <<

[54] Sir Arthur Keith, *A New Theory of Human Evolution*, The Philosophical Library, Londres, 1949, pág. 161. <<



[55] Sir Grafton Elliot Smith, *Essays on the Evolution of Man*, Oxford University Press, Oxford, 1923, pág. 1. <<

[56] Julian Huxley, «Evolutionary processes and taxonomy with special reference to grades», en Olav Hedberg (ed.), *Systematics of Today*, Upsala Universitets Arsskrift, Upsala, 1986, pág. 35. <<

[57] Stephen Jay Gould, «Play it again, life», *Natural History*, cit., pág. 19. <<

[58] S. J. Gould, *Wonderful Life*, cit., pág. 318. <<

[59] *Ibid*., pág. 291. <<

[60] S. J. Gould, «Eternal metaphors of paleontology», en Anthony Hallam (ed.), *Patterns of Evolution as Illustrated in the Fossil Record*, Elsevier, Nueva York, 1977, pág. 13. <<

[61] S. J. Gould, *Ever Since Darwin*, W. W. Norton, Nueva York, 1977, pág. 45. Hay trad. esp.: *Desde Darwin*, Blume, Madrid, 1983. <<

[62] Charles Darwin, *op. cit.*, pág. 337. <<



[63] George Gaylord Simpson, *The Meaning of Evolution*, Yale University Press, New Haven, 1949, pág. 252. <<



[64] George Gaylord Simpsons, *Principles of Animal Taxonomy*, Columbia University Press, Nueva York, 1961, pág. 97. <<

[65] Stephen Jay Gould, citado en Roger Lewin, *Complexity: Life at the Edge of Chaos*, Macmillan, Nueva York, 1992, pp. 145-146. Trad. esp.: *Complejidad: El caos como generador de orden*, Tusquets Editores (Metatemas 41), Barcelona, 1995. <<

[66] Edward O. Wilson, *The Diversity of Life*, cit., pág. 187. <<

[67] Charles Darwin, *op. cit.*, pág. 460. <<

[68] Michael A. Mares, «Neotropical mammals and the myth of Amazonian biodiversity», *Science*, vol. 255 (1992), pág. 976. <<

[69] Stuart L. Pimm y John L. Gittleman, *Science*, vol. 255 (1992), pág. 940. <<



[70] George Stevens, citado en «Biologists disagree over bold signature of nature», *Science*, vol. 244 (1989), pág. 527. <<



[71] Michael A. Rex y otros, «Global-scale latitudinal patterns of species diversity in the deep-sea benthos», *Nature*, vol. 365 (1993), pág. 636. <<



[72] David Jablonski, «The tropics as a source of evolutionary novelty through geological time», *Nature*, vol, 364 (1993), pág. 142. <<

[73] Wallace Arthur, «The bulging biosphere», *New Scientist*, 29 de junio de 1991, pág. 43. <<

[74] John D. Gage y Robert M. May, «A dip into de depps seas», *Nature*, vol. 365 (1993), pág. 610. <<

[75] Robert M. May, «Biological diversity; differences between land and sea», *Transactions of the Roya Society*, Serie B, vol. 343 (1994), pág. 109. <<

[76] *Ibid*. <<

[77] Robert M. May, «How many species are there?», *Science*, vol. 241 (1988), pág. 1441. <<



[78] Edward O. Wilson, «The biologica diversity crisis: a challenge to science», *Issues in Science and Technology*, Otoño de 1984, pág. 22. <<

[79] Robert M. May, «How many species inhabit the Earth?», *Scientific American*, octubre de 1992, pág. 48. <<

[80] Edward O. Wilson, «The biological diversity crisis: a challeng…», cit., pág. 230. <<

[81] David Ehrenfeld, «Why put value on biodiversity?», en E. O. Wilson (ed.), *Biodiversity*, cit., pág. 212. <<

[82] *Ibid*., pág. 213. <<

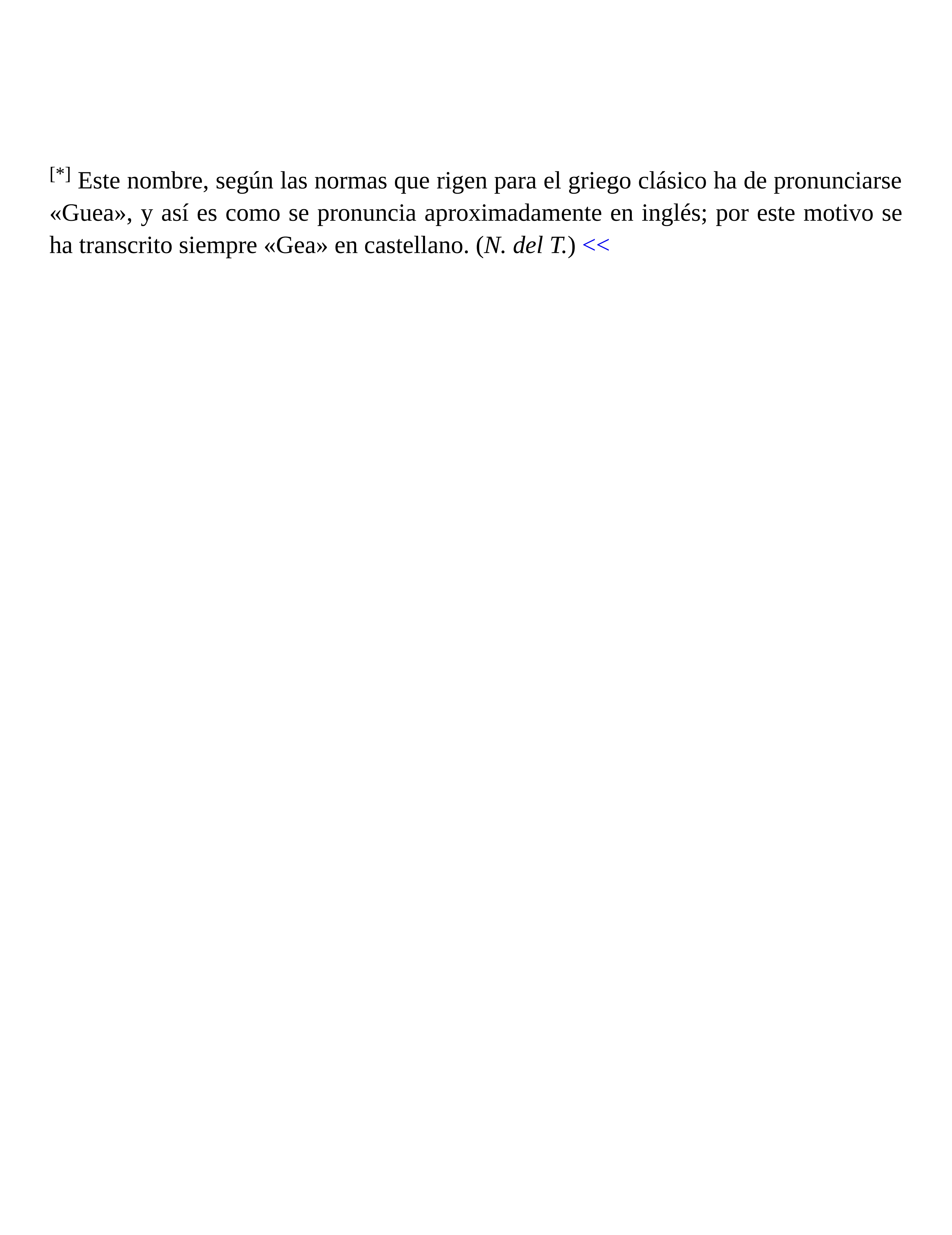
[83] Charles M. Peters y otros, «Valuation of an Amazonian rainforest», *Nature*, vol. 339 (1989), pág. 656. <<

[84] Hugh H. Ilis, «Serendipity in the exploration of biodiversity», en E. O. Wilson (ed.), *Biodiversity*, cit., pág. 214. <<

[85] David Ehrenfeld, «Why put value on biodiversity», cit., pág. 214. <<

[86] *Ibid*., pág. 213. <<

[87] Charles Darwin, *op. cit.*, pág. 459. <<



[*] Este nombre, según las normas que rigen para el griego clásico ha de pronunciarse «Guea», y así es como se pronuncia aproximadamente en inglés; por este motivo se ha transcrito siempre «Gea» en castellano. (*N. del T.*) <<

[88] James E. Lovelock, «The Earth as a living organism», en E. O. Wilson (ed.), *Biodiversity*, ed. cit., pág. 488. <<

[89] David Tilman y John A. Downing, «Biodiversity and stability in grasslands», *Nature*, vol. 367 (1994), pág. 365. <<

[90] Edward O. Wilson, «Biophilia and the conservation ethic», en Stephen R. Kellers y Edward O. Wilson (eds.), *The Biophilia Hypothesis*, Island Press, Washington D. C., pág. 31. <<



[91] Luther Standing Bear, *Land of the Spotted Eagle*, University of Nevada Press, Lincoln, 1933, pág. 45. <<

[92] Seth R. Rice, «Nonequilibrium determinants of biological community structure», *American Scientist*, vol. 82 (1944), pág. 427. <<

[93] Stuart L. Pimm, *The Balance of Nature*, University of Chicago Press, Chicago, 1991, pág. 4. <<



[94] Robert May, «The chaotic rhythms of life», *New Scientist*, 18 de noviembre de 1989, pág. 37. <<

[95] *Ibid*, pág. 39. <<



[96] Alan Hastings y Kevin Higgins, «Persistence of transients in spatially structured ecological models», *Science*, vol. 263 (1994), pág. 1136. <<

[97] William W. Schaffer y Mark Not, «Chaos in ecological systems», *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 1, septiembre de 1986, pág. 63. <<

[98] Michael P. Hassell y otros, «Species coexistence and self-organizing spatial dynamics», *Nature*, vol. 370 (1994), pág. 290. <<

[99] Ted J. Case, «Invasion resistance arises in strongly interacting species-rich model competition communities», *Procedings of the National Academy of Sciences*, vol. 87 (1990), pág. 9610. <<

[100] *Ibid*. <<

[101] Stuart L. Pimm y otros, «Food web patterns and their consequences», *Nature*, vol. 350 (1991), pág. 669. <<

[102] Jeremy B. C. Jackson, «Community unity?», *Science*, vol. 264 (1994), pág. 1412. <<

[103] Brian Walker, «Diversity and stability in ecosystem conservation», en David Western y Mary Pearl (eds.), *Conservation for the Twenty-first Century*, Oxford University Press, Nueva York, 1989, pág. 125. <<

[104] *Ibid*., pág. 130. <<



[105] Alfred Russel Wallace, *The Geographical Distribution of Animals*, vol. I, Harper and Brothers, Nueva York, 1876, pág. 151. <<

[106] Alfred Russel Wallace, *The World of Life*, Moffat, Yard, Nueva York, 1911, pág. 264. <<

[107] Richard Owen, *Paleontology, or a Systematic Study of Extinct Animals and Their Geological Relations*, A. and C. Black, Edimburgo, 1860, pág. 399. <<

[108] Charles Lyell, *A Second Visit to the United States of North America*, vol. I, Harper and Brothers, Nueva York, 1849, pág. 259. <<

[109] Paul S. Martin, «Prehistoric overkill: the global model», en Paul S. Martin y Richard G. Klein (eds.), *Quaternary Extinctions: a prehistoric revolution*, Universidad de Arizona Press, Tucson, 1984, pág. 367. <<

[110] *Ibid*., pág. 370. <<

[111] John E. Guilday, «Pleistocene Extinction and Environment Change», en Martin y Klein (eds.), *Quaternary Extinctions*, ed. cit., pág. 250. <<

[122] *Ibid*., pág. 254. <<

[113] *Ibid*., pág. 257. <<

[114] Paul S. Martin, «Prehistoric overkill: the global model», ed. cit., pág. 384. <<

[115] *Ibid*., pág. 323. <<

[116] Jared Diamond, *The Third Chimpanzee*, HarperCollins, Nueva York, 1992, pág. 321. Trad. esp.: *El tercer chimpancé*, Espasa Calpe, Madrid, 1994. <<

[117] *Ibid*. <<

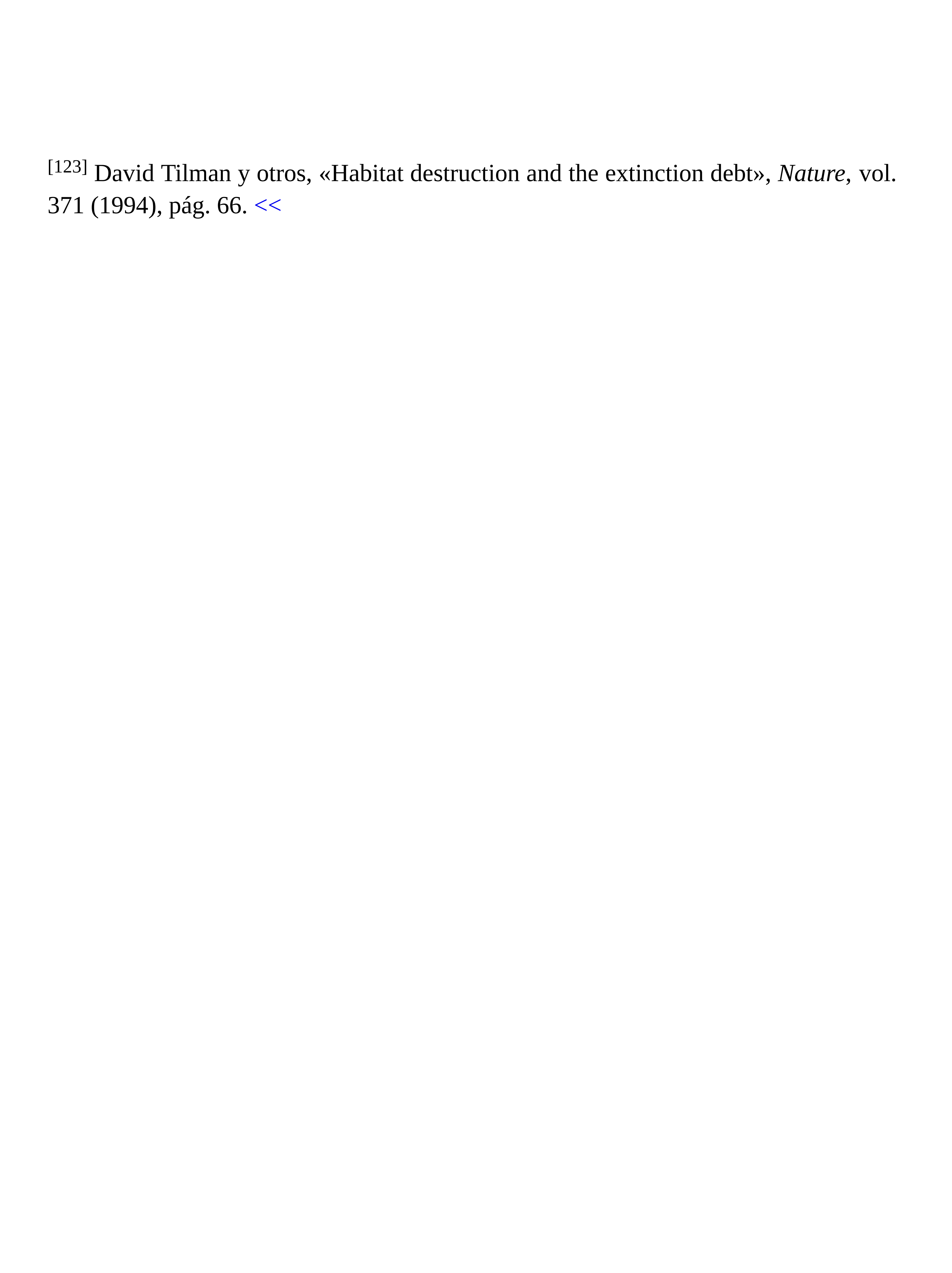
[118] *Ibid*. <<

[119] A. Berger, *Hawaiian Birdlife*, University Press of Hawaii, Honolulú, 1972, pág. 7. <<

[120] Helen F. James y Storrs L. Olson, «Flightless birds», *Natural History*, septiembre de 1983, pág. 30. <<

[121] *Ibid*. <<

[122] Storrs L. Olson y Helen F. James, «The role of Polynesians in the extinctions of the avifauna of the Hawaiian Islands», en Paul S. Martin y Richard G. Klein (eds.), *Quaternary Extinctions: a prehistoric revolution*, ed. cit., pp. 777-778. <<



[123] David Tilman y otros, «Habitat destruction and the extinction debt», *Nature*, vol. 371 (1994), pág. 66. <<

[124] Storrs L. Olson, «Extinction on island: man as a catastrophe», en David Western y Mary Pearl (eds.), *Conservation for the Twenty-first Century*, Oxford University Press, Nueva York, 1989, pág. 52. <<

[125] Douglas H. Chadwick, *The Fate of the Elephant*, Sierra Club Books, San Francisco, 1992, pág. 35. <<

[126] Iain y Oria Douglas-Hamilton, *Battle for the Elephants*, Viking Penguin, Nueva York, 1992, pág. 35. <<

[127] *Ibid*., pág. 37. <<

[128] *Ibid*., pág. 33. <<

[129] *Ibid*., pág. 38. <<

[130] Cynthia Moss, *Elephant Memories*, William Morrow and Company, Nueva York, 1988, pág. 50-51. Trad. esp.: *Los elefantes*, Plaza y Janés, Barcelona, 1992. <<

[131] Charles Darwin, *op. cit.*, pág. 459. <<

[132] Robert Broom, *The Coming of Man: Was It Accident or Design?*, pág. 220. <<

[133] Stephen Jay Gould, «The Evolution of life on the Earth», *Scientific American*, octubre de 1994, pág. 89. <<

[134] David M. Raup, «Geological crises in the geological past», E. O. Wilson (ed.), *Biodiversity*, ed. cit., pág. 55. <<

[135] Edward O. Wilson, «Is hummanity suicida?», *New York Times Magazine*, 30 de mayo de 1993, pág. 26. <<

[136] Les Kaufman, «Why ark is sinking», en Les Kaufman y Kenneth Mallory (eds.), *The Last Extinction*, MIT Press, Cambridge (Massachusetts), 1993, pág. 43. <<

[137] Charles C. Mann, «Extinction: are ecologist crying wolf?», *Science*, vol. 253 (1991), pp. 736-738. <<

[138] Julian L. Simon, «Disappearing species, deforestation, and data», *New Scientist*, 15 de mayo de 1986, pág. 60. <<

[139] Julian Simon, en Norman Myers y Julian L. Simon, *Scarcity or Abundance?*, W. W. Norton, Nueva York, 1994, pág. 35. <<

[140] Julian L. Simon y Aaron Wildavsky, «Facts, not species, are imperiled», *New York Times*, 13 de mayo de 1993, pág. 23. <<

[141] Thomas E. Lovejoy, «Species leave the ark one by one», en Brian Norton (ed.), *The Preservation of Species*, Princeton University Press, Princeton, 1986, pág. 14. <<

[142] David Skole y Compton Tucker, «Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon», *Science*, vol. 260 (1993), pág. 1909. <<

[143] Paul R. Ehrlich y Anne H. Ehrlich, «The value of diversity», *Ambio*, vol. 21 (1992), pág. 225. <<



[144] Julian Simon, en Norman Myers y Julian L. Simon, *Scarcity or Abundance?*, ed. cit., pág. 65. <<

[145] Edward O. Wilson, *The Diversity of Life*, ed. cit., pag. 220. <<



[146] Julian Simon, citado en William K. Stevens, «Species loss: crisis or false alarm?», *New York Times*, 20 de agosto de 1991, pág. C8. <<



[147] Julian Simon, en Norman Myers y Julian L. Simon, *Scarcity or Abundance?*, ed. cit., pág. 35. <<

[148] Thomas E. Lovejoy, «Species leave the ark one by one», ed. cit., pág. 14. <<

[149] Stuart Pimm, «So many species in so little time», *The Sciences* (en prensa). <<

[150] *Ibid*. <<

[151] M. P. Nott y otros, «Modern extinctions in the kilo-death range», *Current Biology*, vol. 5 (1995), pág. 3. <<

[152] Stuart Pimm, «So many species in so little time», *The Sciences* (en prensa). <<



[153] Daniel Simberloff, «The ecology of extinction», *Acta Paleontologica Polonica*, vol. 38 (1994), pág. 168. <<

[154] *Ibid*., pág. 171. <<

[155] Paul R. Ehrlich, «Population diversity and the future of ecosystems», *Science*, vol. 254 (1991), pág. 175. <<

[156] Julian Simon, en Norman Myers y Julian L. Simon, *Scarcity or Abundance?*, ed. cit., pág. 35. <<

[157] *Ibid*. <<



[158] Les Kaufman, «Why the ark is sinking», en Kaufman y Mallory (eds.), *The Last Extinction*, ed. cit., pág. 2. <<



[159] Michael D. Copeland, «No red squirrels? Mother Nature may be better off», *Wall Street Journal*, 7 de junio de 1990. <<



[160] Stephen Jay Gould, «The golden rule a proper scale for our environmental crisis», *Natural History*, septiembre de 1990, pág. 30. <<

[161] *Ibid*. <<

[162] David M. Raup, *Extinction: bad genes or bad luck?*, ed. cit., pág. 17. <<